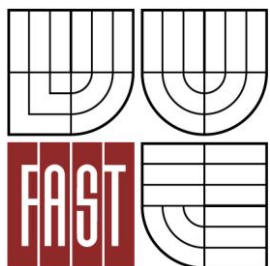




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

NOVÉ TRENDY V ÚPRAVĚ VODY

NEW TRENDS IN WATER TREATMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Alena Zdražilová

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. RENATA BIELA, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Alena Zdražilová
Název	Nové trendy v úpravě vody
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Renata Biela, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] CRITTENDEN, John, et al. Water Treatment: Principles and Design. 2nd Edition. John Wiley and Sons, 2005. 1948 p. ISBN 0-471-11018-3.
- [2] GRÜNWALD, Alexander. Zdravotně inženýrské stavby 40: Úprava vody. 1.vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 103 s. ISBN 80-01-01658-7.
- [3] BIELA, R.; UHER, M. Nové technologie při úpravě a akumulaci vod. In Městské vody 2012. 1. Brno: ARDEC, s.r.o., 2012. s. 121-126. ISBN: 978-80-86020-75- 4.
- [4] BIELA, R. Vodárenská flotace a její použití při úpravě pitné vody v ČR. TZB- info, 2012, roč. 14., č. 32, s. 1-6. ISSN: 1801- 4399.
- [5] DRBOHLAV, Josef; LÍBAL, Aleš; MAZEL, Luboš. Nové technologie pro úpravní vody. In Voda Zlín 2005. 1. Zlín: Zlínská vodárenská a.s., 2005. s. 111-118. ISBN: 80-239-4453-3.
- [6] Odborné časopisy (Slovak, Vodní hospodářství, TZB-info)

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V rámci bakalářské práce bude řešeršní formou zpracován přehled nejnovějších trendů v úpravě pitné vody (např. flotace, membránové procesy, využití nových adsorpčních materiálů, apod.). Součástí práce budou i příklady úpraven, ve kterých jsou moderní úprárenské technologie použity.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).


.....

Ing. Renata Biela, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Tato bakalářská práce je rozdělena do dvou částí. V první části zpracovávám přehled nových trendů v upravování pitné vody. Druhá část je zaměřena na uvedení příkladů využití některých zmíněných nových technologií, které je možno nalézt v praxi, tedy na provozovaných úpravnách vody.

Klíčová slova

úpravna vody, flotace, drenážní systém Leopold, drenážní systém Triton, membránové procesy, MIOX

This bachelor's thesis is divided into to two parts. The first part contains an overview of new trends in water treatment. The second part shows examples of use of some mentioned type of new technologies, which can be found in practice, that is on water treatment plants.

Keywords

water treatment plant, flotation, underdrain system Leopold, underdrain system Triton, membrane processes, MIOX

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

ZDRAŽILOVÁ, Alena. *Nové trendy v úpravě vody*. Brno, 2013. 56 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Nové trendy v úpravě vody* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22.5.2013

.....
podpis autora

Alena Zdražilová

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Renatě Biele, Ph.D za poskytnutí cenných rad a informací ke zpracování této práce.

OBSAH

1	ÚVOD.....	3
2	NOVÉ TRENDY V ÚPRAVĚ VODY	6
2.1	První separační stupeň.....	6
2.1.1	Usazovací nádrže s lamelovou vestavbou	6
2.1.2	Čiřiče se zatěžovanou flokulací.....	7
2.1.3	Lamely v čiřičích s vločkovým mrakem	8
2.1.4	Stanice s reaktorem s plovoucí filtrační vrstvou	10
2.1.5	Flotace	12
2.2	Filtrace	14
2.2.1	Filtrace s drenážním systémem Leopold	14
2.2.2	Filtrace s drenážním systémem Triton	16
2.2.3	Membránová filtrace.....	18
2.2.4	Adsorpční materiály.....	21
2.3	Dezinfekce upravené vody.....	23
2.3.1	Technologie MIOX.....	23
2.3.2	Membránové procesy.....	24
3	PŘÍKLADY VYUŽITÍ NOVÝCH TECHNOLOGIÍ V PRAXI.....	25
3.1	Lamelová vestavba	25
3.1.1	ÚV Hajská.....	25
3.2	Flotace	26
3.2.1	ÚV Mostiště	26
3.2.2	ÚV Jirkov.....	30
3.3	Drenážní systém Triton.....	31
3.3.1	ÚV Kroměříž.....	31
3.3.2	ÚV Štítná nad Vláří	33
3.4	Drenážní systém Leopold	34
3.4.1	ÚV Lednice.....	34
3.4.2	ÚV Hradiště	35
3.4.3	ÚV Mariánské Lázně.....	36
3.5	Membránové technologie	39
3.5.1	ÚV Clay Lane (Velká Británie) - ultrafiltrace	39
3.5.2	ÚV Méry sur Oise (Francie) - nanofiltrace	40
3.5.3	ÚV Třebotov - reverzní osmóza	41

3.6	Technologie MIOX.....	43
3.6.1	ÚV Vysoká Pec a Limnice.....	43
4	ZÁVĚR	46
	POUŽITÁ LITERATURA	48
	SEZNAM TABULEK	52
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	53
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	55
	SUMMARY	56

1 ÚVOD

Voda je základ života. Je podstatnou součástí všech živých organismů, jedná se o nejrozšířenější látku na Zemi. Naši planetě se říká modrá proto, že 71% jejího povrchu pokrývá voda. Z celkového množství vody tvoří jen 2,5% voda sladká, z níž jsou více než dvě třetiny zamrzlé. Pro lidskou potřebu je tak využitelné necelé procento veškeré vody na Zemi.

Pitná voda patří k základním životním potřebám a její odpovídající příjem je nejen podmínkou pro správné fungování všech procesů v lidském těle, ale přispívá i k duševní pohodě člověka. Pokud její kvalita neodpovídá hygienickým požadavkům, může způsobit různé zdravotní problémy akutního či chronického rázu. [1]

V minulosti se lidstvo upravováním vody nezabývalo, což mělo za následek šíření epidemií prostřednictvím vody. Nejběžnější nemocí byla cholera, kterou vyvolávají bakterie *Vibrio cholerae* z vody znečištěné splašky. V roce 1817 propukla v Kalkatě obzvlášť silná a smrtící forma této choroby. V dalších 15 letech infikovala zbytek světa. V roce 1831 pronikla do Anglie, kde zavinila úmrtí 78 000 lidí. Lodě zavlekly později cholera i do severní Ameriky. Roku 1832 epidemie vyhasla. Britský lékař John Snow dokázal, že se cholera přenášela infikovanou pitnou vodou. Ročně na tuto nemoc zemře asi tři miliony lidí, především v Asii, Africe a Jižní Americe. I v ČR se dodnes každoročně vyskytne několik ojedinělých případů importovaných z exotických zemí. Mezi další nemoci způsobené bakteriemi a viry patří břišní tyfus - nemoc, která ještě před sto lety byla nejčastější příčinou vodních epidemií v průmyslově rozvinutých zemích. Bakterie *Salmonella typhimurium* a další druhy vyvolávají salmonelózu, což je nemoc, která je v Evropě na vzestupu, i když pitná voda není hlavní cestou přenosu. Řadu epidemií z pitné vody zapříčinily patogenní kmeny *Escherichia coli*, bakterie žijící ve střevech lidí a zvířat, nebo viry hepatitidy A, E a F způsobující zánětlivé onemocnění jater. V rozvinutých a rozvojových zemích jsou rotaviry hlavní virovou příčinou těžkých horečnatých průjmů u kojenců a malých dětí. Přenos pitnou vodou je možný, ale nevíme jak častý. Historicky známým onemocněním je legionelóza. Byla objevena v roce 1976 v USA díky záhadné epidemii, která postihla sjezd legionářů. Bakterie *Legionella pneumophila* se vyskytuje běžně ve vodách, ale v teplé vodě nebo klimatizačních jednotkách se může pomnožit do velmi vysokých počtů. Cesta přenosu je především inhalací infikovaného aerosolu při sprchování, ve vřířivých koupelích, v klimatizovaných prostorách nebo při pití kontaminované vody. [2]

Od 18.-19. století, kdy díky rozvoji přírodních věd a pokrokům v chemii, mikrobiologii a epidemiologii mohli být poprvé identifikováni konkrétní původci "vodních nemocí", se naše poznání o vztazích mezi kvalitou vody a vznikem určitých chorob mnohonásobně prohloubilo a rozšířilo a také v praktické oblasti zabezpečení nezávadné pitné vody bylo během 20. století dosaženo neuvěřitelného pokroku. Tento pokrok se však netýká rovnoměrně celého světa.

A tak podle zprávy Světové zdravotnické organizace z roku 2004 žije na naší planetě na počátku 21. století stále ještě 1,2 miliardy lidí, kteří nemají přístup k nezávadné pitné vodě. I když jde především o problém rozvojové části světa, ušetřena není ani Evropa. [2]

Vhodný technologický postup úpravy vody se aplikuje na jakosti surové vody, přičemž je nutné vzít v úvahu nejen obvyklé (průměrné) hodnoty, ale i nárazové znečištění. Pro úpravu vody se mohou použít jen schválené technologické postupy, které jsou uvedeny ve vyhlášce č.409/2005 Sb. o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do styku s vodou a na úpravu vody. V případě, že mají být použity jiné technologické postupy, je nutno si vyžádat souhlas příslušného orgánu ochrany veřejného zdraví. Zavedení nové technologie úpravy vody nesmí přímo nebo nepřímo vést ke zhoršení stávající jakosti vody a jejích organoleptických vlastností. Technologie úpravy vody nesmí být příčinou vnesení cizorodých, zdraví škodlivých látek do pitné vody. Musí co nejvíce respektovat přírodní složení vody a zachovávat biologickou hodnotu pitné vody. [2]

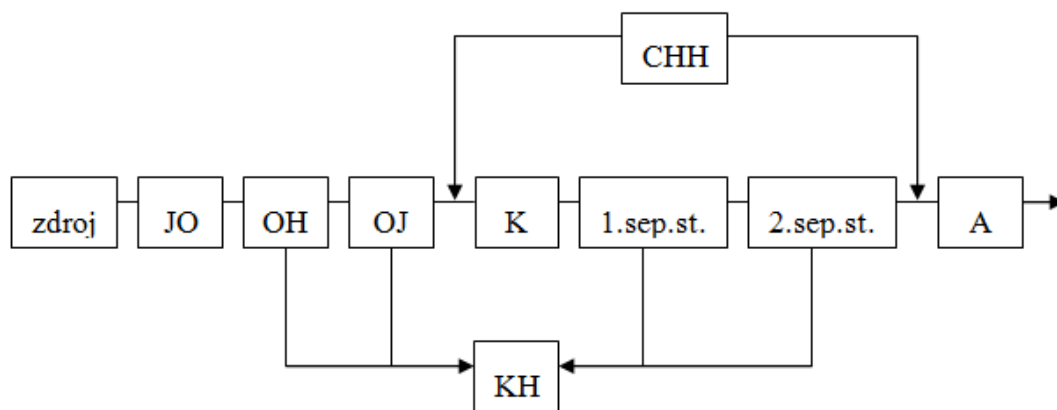
Příloha č. 13 vyhlášky 120/2011 Sb. uvádí ukazatele jakosti surové povrchové i podzemní vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na pitnou. Kategorie jakosti surové vody a tomu odpovídající možné úpravy jsou následující [3]

A1 - Úprava surové vody s koncovou dezinfekcí pro odstranění sloučenin a prvků, které mohou mít vliv na její další použití a to zvláště snížení agresivity vůči materiálům rozvodného systému včetně domovních instalací (chemické nebo mechanické odkyselení), dále odstranění pachu a plynných složek provzdušňováním.

A2 - Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtraci, jednostupňové odželezování, odmanganování nebo infiltraci, pomalou biologickou filtraci, úpravu v horninovém prostředí a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení vlastností je vhodná stabilizace vody.

A3 - Úprava surové vody vyžaduje dvou či více stupňovou úpravu čiřením, oxidací, odželezováním a odmanganováním s koncovou dezinfekcí popř. jejich kombinací. Mezi další vhodné procesy se řadí např. využívání ozónu, aktivního uhlí, pomocných flokulantů, flotace. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné (např. sorpce na speciálních materiálech, iontová výměna, membránové postupy) se použijí mimořádně.

Pokud surová voda vykazuje vyšší koncentrace, než jsou uvedeny pro kategorii A3, pak podle §13 odst. 2 zákona č. 274/2001 Sb. lze vodu této jakosti výjimečně odebírat pro výrobu pitné vody s udělením výjimky příslušným krajským úřadem. Pro úpravu na vodu pitnou se musí použít technologicky náročné postupy spočívající v kombinaci typů úprav uvedených pro kategorii A3, přičemž je nutné zajistit kvalitu vyráběné pitné vody podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Přednostním řešením v těchto případech je však eliminace příčin znečištění anebo vyhledávání nového zdroje vody.[4]



Obr. 1.1 Blokové schéma úpravy vody dvoustupňovou separací při odběru vody z povrchového zdroje [5]

Pozn. JO - jímací objekt, OH - odlučovač hrubý, OJ - odlučovač jemný, K - koagulace, flokulace, A - akumulace, CHH - chemické hospodářství, KH - kalové hospodářství

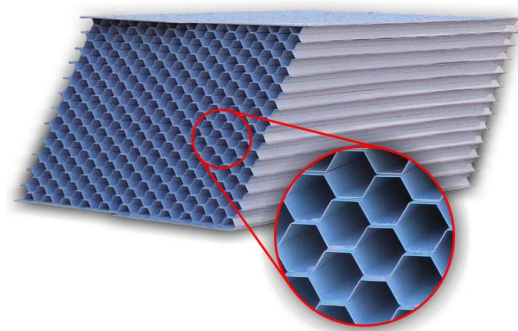
2 NOVÉ TRENDY V ÚPRAVĚ VODY

2.1 PRVNÍ SEPARAČNÍ STUPEŇ

2.1.1 Usazovací nádrže s lamelovou vestavbou

Častým způsobem inovace usazovacích nádrží jsou lamelové vestavby různých systémů. Jejich teorie je podrobně propracovaná již od 60. let minulého století. V pozdějším období se inovace usazovacích nádrží zaměřují na vyklízení kalu, kde se vývoj ubíral od klasických radlic přes řetězové až k plastovým dnovým shrabovákům. [4]

Rychlá usazovací nádrž obsahuje množství prvků - lamel tvaru desek nebo trubek o průměru do 10 cm a délce do 2,5 m. Účinek tohoto zařízení na odstranění suspendovaných látek dosahuje 96 %. Prvky bývají v nádrži obvykle uspořádány tak, aby se dosáhlo nejvyššího prostorového využití. [5]



Obr. 2.1 Lamelová vestavba [6]

Na účinnost lamelové usazovací nádrže má vliv délka lamel a úhel sklonu lamel. Teoreticky je možné prokázat, že účinek lamel se prudce zhoršuje při sklonu od vodorovné větším než 40°. Minimální délka lamel je 1 m. [5]

Režim proudění se hodnotí na základě Reynoldsova čísla pro proudění v potrubí. Při použití lamel má být hodnota $Re \leq 200$. [5]

Používají se lamelové usazovací nádrže různé konstrukce, např. lamelové usazovací nádrže se vzestupným prouděním, kde je proudění opačného směru než pohyb kalu nebo lamelové usazovací nádrže se sestupným prouděním, kde se kal usazený na dně pohybuje ve stejném směru jako proudící medium. Byly vyvinuty také usazovací nádrže opatřené pohyblivými pásy - lamelami, které vyklízejí usazený kal z nádrže. [5]

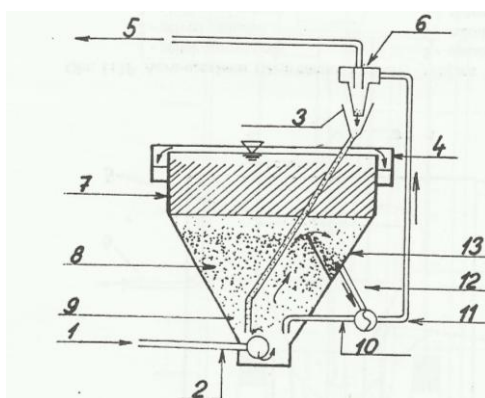
Kompaktní tvar nádrže je přizpůsoben tvaru vestavby lamelových bloků. Při pohledu zepředu je patrný nátokový prostor, spodní část charakterizuje jehlanovitý tvar kalového prostoru. Pod

lamelovou vestavbou (u typů se vzestupným proudem) jsou rozmístěny elementy, v horní části nad lamelami přepadá vyčištěná voda přes žlaby s přelivnými hranami. [7]

2.1.2 Čiřiče se zatěžovanou flokulací

Čiřiče v této technologii fungují podobně jako čiřiče s vločkovým mrakem nebo ty s recirkulací kalu s tím rozdílem, že se přidává jemný písek. Čiřič shromažďuje mikrovločky diferenciálním usazováním, přičemž vznikají aglomeráty větší hustoty, které dovolují vyšší povrchové zatížení. Zatěžkávadla zpravidla sama o sobě neflokulují, a proto se používají společně s koagulanty a flokulanty. V současné době se při úpravě vody používají čiřiče se zatěžkávanou flokulací následujícího typu. [8]

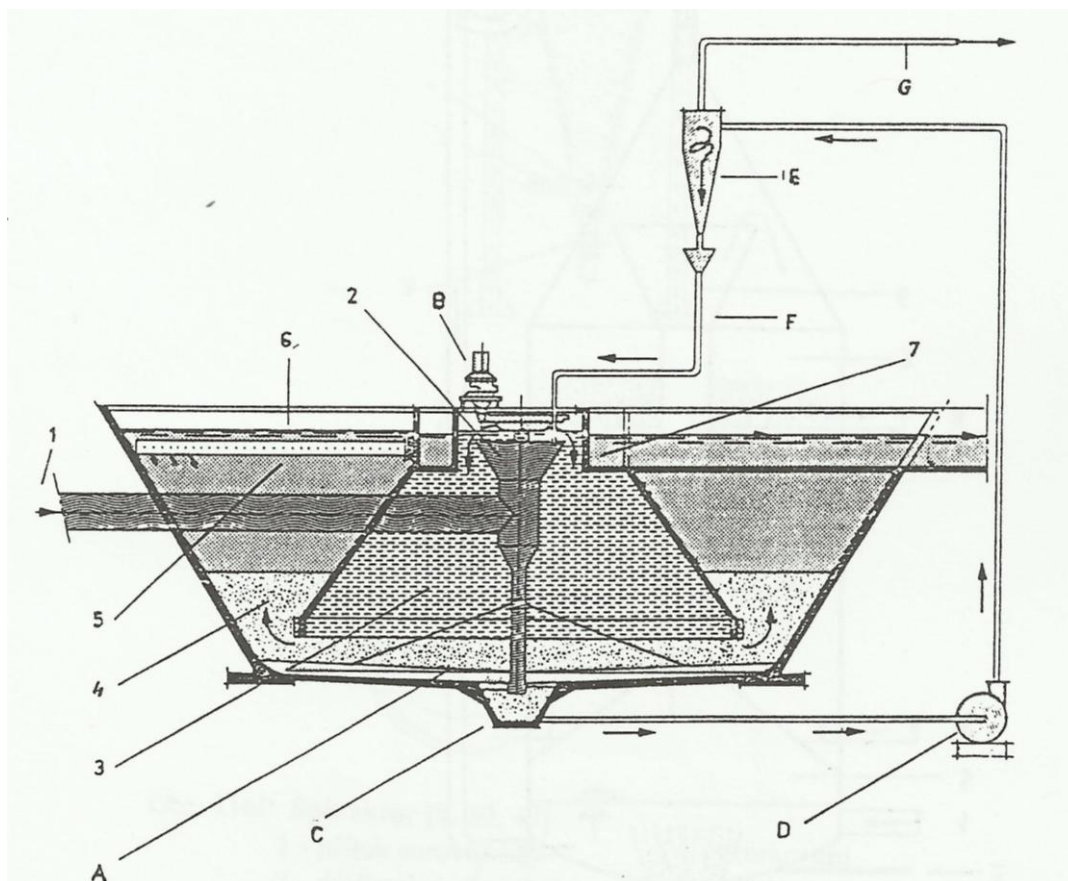
Fluorapid je sestaven na principu vznášené vrstvy vločkového mraku s dávkováním mikropísku do spodní části kónického reaktoru. Kontinuální regenerace písku probíhá v hydrocyklonu. Flokulace je opět podporována organickým flokulantem. V lamelách v prostoru vyčiřené vody probíhá druhý stupeň separace unikajících vloček.[8]



Obr. 2.2 Fluorapid [8]

Pozn. 1 - přítok surové vody, 2 - dávkování koagulantů, 3 - dávkování org. koagulantů, 4 - odtok upravené vody, 5 - odtah separovaného kalu, 6 - hydrocyklon, 7 - lamely, 8 - vločkový mrak, 9 - vracení mikropísku, 10 - sací potrubí kalu, 11 - vytlačené potrubí sedimentu, 12 - odvádění sedimentu, 13 - sběrný žlab sedimentu

Cyclofloc je čiřič s křemičitým mikropískem, který je dávkován do flokulační etapy v množství asi $1-2 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$. K čiření se používají soli Al nebo Fe, flokulace je podporována flokulantem Aqualgine, což je speciální typ Na-alginátu. Regenerace písku se provádí v hydrocyklonu, čiření a separace suspenze v čiřiči s vločkovým mrakem. Vzestupná rychlost vody je až $2,5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. [8]



Obr. 2.3 Cyclofloc [8]

Pozn. Čiřicí systém: 1 - přítok surové vody s koagulanty, 2 - difuzór, 3 - flokulační prostor, 4 - čiřicí prostor, 5 - vyčiřená voda, 6 - sběrný žlab, 7 - odtok upravené vody

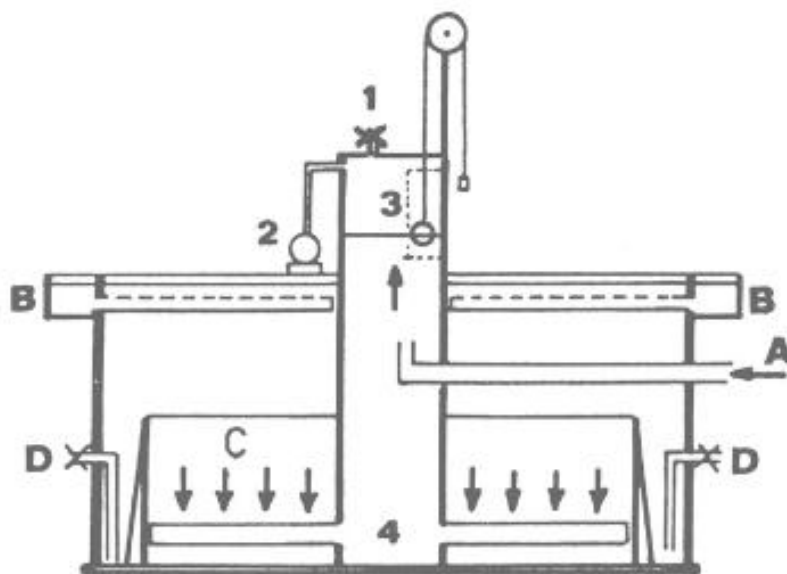
Regenerační systém mikropísku: A - shrabovák, B - pohon shrabováku, C - jímka kalu a mikropísku, D - cirkulační čerpadlo, E - hydrocyklon, F - dávkování mikropísku (regenerovaného), G - vypouštění kalu

2.1.3 Lamely v čiřičích s vločkovým mrakem

Aplikace lamel v čiřičích s vločkovým mrakem umožňuje zvýšení výkonu čiřiče až o 50%, popř. zlepšení vyčiřené vody, nebo obojí. Tento pokrok byl umožněn zvláště rozvojem použití plastických hmot, z nichž se lamelová vestavba většinou provádí.[8]

Lamely pro čiřič s vločkovým mrakem mohou být deskovité, trubkové, popř. V-chevron. Ve většině případů jsou lamely zabudovány nad hladinou vločkového mraku, kde zachycují unikající vločky z vločkového mraku a zlepšují kvalitu vyčiřené vody. Výjimkou je zařízení Superpulsator. Při odkalování čiřiče dochází k vyplachování lamel. Účinnost závisí na řadě faktorů, které obecně dělíme do tří kategorií: hydraulické, fyzikální-geometrické a chemické, popř. fyzikálně chemické.[8]

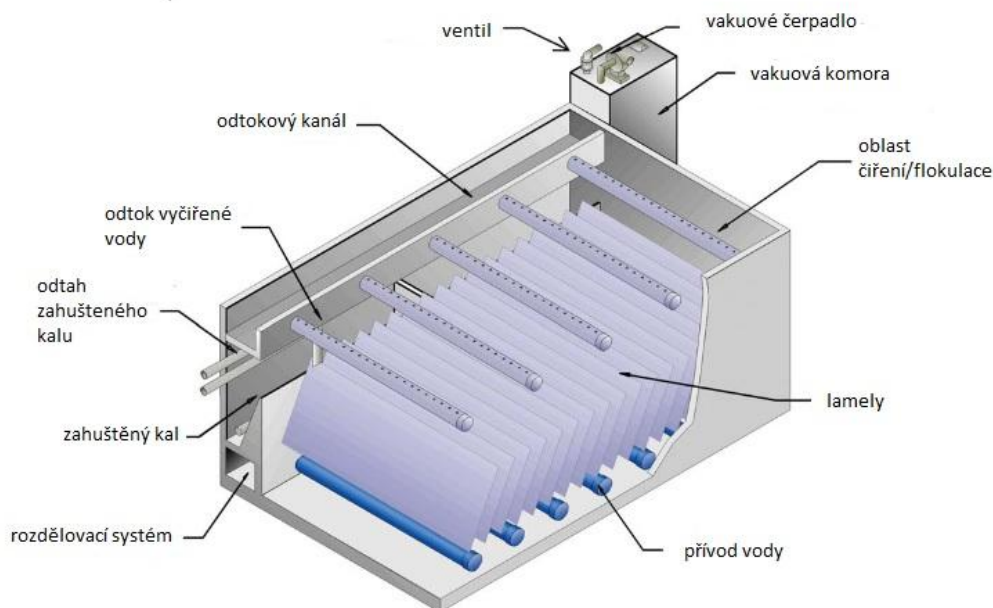
U čířičů Pulsátor se vrstva kalového mraku udržuje v periodickém kmitání (pulzaci), zamezujícím vznik závalů. Přívod surové vody je řešen systémem vodorovně uloženého perforovaného potrubí, které umožňuje rovnoměrné rozdělení průtoků vody po celé půdorysné ploše čířiče. Obdobný systém sítě perforovaného potrubí je umístěn u hladiny čířicího prostoru pro odběr vyčiřené vody. Tím se dosahuje rovnoměrného rozdělení průtoku v čířicím prostoru a zamezuje se nerovnoměrnostem v rozložení vzestupných rychlostí v různých částech čířiče. K pulzaci vločkového mraku dochází tak, že surová voda s nadávkovaným koagulantem přivádí do vakuové komory spojené s rozdělovacím systémem. Z komory se odsává vzduch v množství, které se přibližně rovná přítokovému množství surové vody. Voda v komoře postupně stoupá, až dosáhne výšky přibližně 1 m nad hladinou vody v čířiči. Poté se otevře uzávěr spojující komoru s atmosférou, načež surová voda vnikne velkou rychlostí do čířicího prostoru. Plnění komory trvá 15-20 s, její vyprazdňování přibližně 5 s. V čířicím prostoru nad vtokovým potrubím se vytváří homogenní vrstva kalového mraku, která je takto střídavým pohybem vody uvolňována a stlačována. Část čířicího prostoru je vyhrazena pro zahušťování nadbytečného kalu. Zahušťovací jímky, umístěné u obvodové stěny čířiče, mají konické dno. Kal do nich vniká při pohybu vody v čířicím prostoru směrem vzhůru a periodicky se z nich vypouští.



Obr. 2.4 Schéma pulsátoru [9]

Pozn. A - surová voda, B - odtok vyčiřené vody, C - kalový mrak, D - odtah zahuštěného kalu, 1 - ventil, 2 - vakuové čerpadlo, 3 - vakuová komora, 4 - rozdělovací systém

Dalším vývojovým typem je Superpulsátor, u kterého je čířicí prostor konstruován jako lamelový nádrž.



Obr. 2.5 Superpulsator [10]

Proudění v lamelách je charakterizováno nízkým Reynoldsovým číslem a sestává ze tří stratifikovaných vrstev jednotné hustoty:

- vrstvy vyčiřené vody,
- vrstvy přiváděné suspenze,
- vrstvy usazeného kalu.

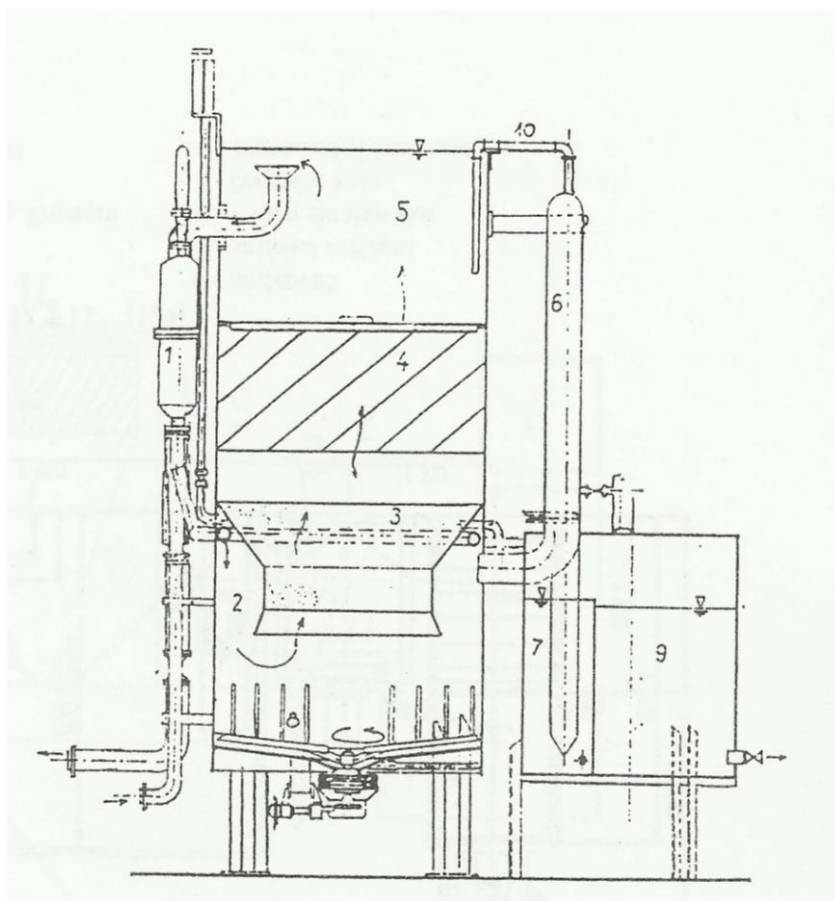
Podmínkou dobré separační účinnosti lamel v prostorech vyčiřené vody je rovnoměrné rozdělení proudu vody na lamely. Toho docílíme uspořádáním vtoků koagulované suspenze do prostoru vložkového mraku.

Kalové částice klesají z lamel zpět do vložkového mraku a obohacují jeho koncentraci. Kal se uvolňující se z lamel má větší sedimentační rychlost než původní vločky a sedimentuje v protisměru ke stoupající vyvločkové vodě. Při sestoupení limitních vzestupných rychlostí vložkový mrak expanduje nahoru do prostoru vyčiřené vody. Zde začíná další úloha lamel - působí jako uklidňující mříž stabilizující zónu čisté vody a nutí unikající vločky sedimentovat, popř. tak zabezpečují vyšší výkon čističe. [8]

2.1.4 Stanice s reaktorem s plovoucí filtrační vrstvou

Jde v podstatě o kompaktní celoblokové provedení zařízení, které zahrnuje čistič s nedokonalým vznášením. Upravovaná voda s dávkou chemikálií se čerpá přes průtokoměr do rychlomísiče a odtud natéká tangenciálně umístěnými vtoky do vložkovacího prostoru reaktoru tvořeného mezikruhovou válcovitě-kuželovitou vestavbou. Část vytvořených vloček

sedimentuje do kalového prostoru, ve kterém je instalován rotační shrabovák s vertikálními rameny. Tato zlepšují zahušťování kalu a současně ovlivňují vznášení vločkového mraku v čiřícím prostoru, do kterého proudí suspenze po obrácení směru toku na hraně vnitřní vestavby. Nad vločkovým mrakem je instalována plovoucí filtrační vrstva, tvořená kuličkami z pěnového polystyrenu o průměru 1,0-2,0 mm a udržovaná pod hladinou upravované vody můstkovým perforovaným patrem. Plovoucí filtrační vrstva zachycuje vločky, které podle intenzity vzestupné rychlosti proudění unikají z vločkového mraku. Postupně se filtrační vrstva zanáší zachycenými vločkami. Tím se zvyšuje hydraulický odpor až do dovoleného maxima tak, aby nedošlo k úniku vloček z vrstvy. Zvýšení hydraulického odporu je využito pro impuls k provedení regenerace (praní) plovoucí filtrační vrstvy. Akumulovaný objem upravené vody mezi hladinou a můstkovým mezidnem je určen k její regeneraci. Vlastní regenerace filtrační vrstvy je řešena násoskovým systémem. Zahuštěný kal na dně reaktor je periodicky odtahován čerpadlem bez přerušení nátoky upravované vody. [8]



Obr. 2.6 Schéma filtru s plovoucí filtrační náplní s tvorbou vločkového mraku [9]

Pozn. 1- statorový rychlomísič, 2 - vločkovací prostor, 3 - separační prostor, 4 - plovoucí vrstva, 5 - zásobník prací vody, 6 - násoska, 7 - vodní uzávěr, 8 - shrabovák, 9 - kalová voda, 10 - přerušování násosky

2.1.5 Flotace

Flotace byla původně využívána mimo oblast vodárenství, a to při úpravě a zpracování kovových rud. V této oblasti se používá až od šedesátých let 19. století. Od 20. století se flotace začala objevovat na mnoha úpravárnách pitné vody v Kanadě, USA, Velké Británii a v zemích Evropské unie, kde je zařazována jako první separační stupeň v rámci dvoustupňové úpravy.[11]

Jedná se o separační proces, který je založen na oddělení tuhých nebo kapalných částic z kapalně fáze. To se provádí zavedením jemných vzduchových bublin do kapalně fáze. Tyto bubliny přilnutím k jednotlivým částicím vytvoří aglomeráty bublina - částice s hustotou nižší než kapalina. Vzniklé aglomeráty mají dostatečně velkou vztlakovou sílu, a proto stoupají k hladině, odkud jsou odstraňovány sběrným zařízením jako sběrný kal.

Flotaci rozdělujeme podle metody použité k produkci bublin na:

1. aeroflotaci (plynová flotace)
 - a. flotace dispergováním vzduchem
 - b. flotace rozpuštěným vzduchem
2. elektroflotaci.

Aeroflotace využívá vztlakovosti plynu ke zvednutí tuhé fáze v kapalině k povrchu. V praxi se nejvíce uplatňuje vzduch, ale může být použit kterýkoliv plyn, který není vysoce rozpustný v kapalině.

Ve flotaci dispergováním vzduchem vznikají poměrně velké vzduchové bubliny o průměru přibližně $1 \cdot 10^{-3}$ m. Při této technologii jsou plynové bubliny tvořeny intenzivním mechanickým mícháním či probubláváním vzduchu přes porézní médium. Mechanické míchání je prováděno pomocí míchadel nebo oběžných kol.

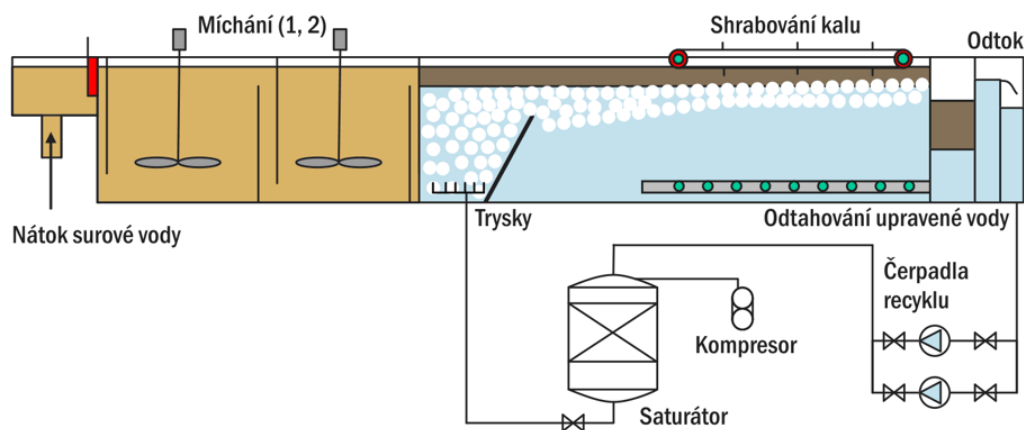
U flotace rozpuštěným vzduchem (DAF) dochází ke vzniku bublin v důsledku uvolnění vzduchu z vody přesycené vzduchem. Průměrná velikost těchto bublin je mnohem menší než u předchozího typu flotace, pohybuje se v rozmezí $7-9 \cdot 10^{-6}$ m. Tento typ flotace dělíme na dvě metody, a to flotaci vakuovou a tlakovou.

Základním rozdílem mezi elektroflotací a flotací vzduchem je tvorba plynových bublin pomocí elektrolýzy. Zařízení je složeno ze dvou součástí, z nichž první je flotační jednotka obsahující požadovaný systém elektrod. Druhou část tvoří transformátor-rectifikátor sloužící k napájení elektrod stejnosměrným proudem o nízkém napětí. Produkované bubliny jsou stejně jako u flotace rozpuštěným vzduchem velice jemné a jejich velikost se nachází v rozmezí $5-7 \cdot 10^{-5}$ m. Tyto bubliny jsou tvořeny molekulami vodíku a kyslíku (elektrolýza vody). Elektroflotace může být protiproudá nebo souproudá, a to dle směru toku vody

k elektrodám. Tento druh byl úspěšně zkoušen v procesu čištění odpadních vod při zahušťování kalů.

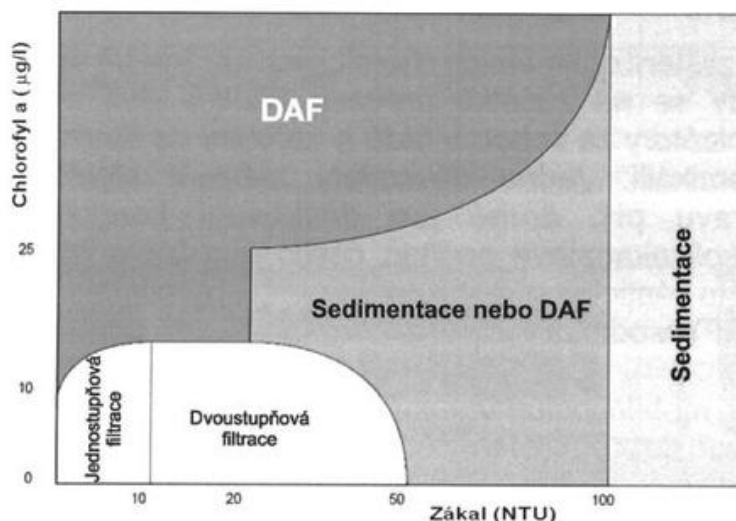
Tlaková flotace se využívá výhradně k úpravě surové vody na pitnou a řadí se jako první separační stupeň při dvoustupňové úpravě vody. Její využití je především u vod povrchových s bohatým výskytem řas, dále u vod silně zbarvených a u vod s nízkým obsahem zákalotvorných látek.

Flotační nádrž se skládá z několika zón. Jsou to reakční zóna, zóna vyflotované pěny a zóna vyflotované vody. V reakční (kontaktní) zóně je do přitékající upravované vody zaváděn proud kapaliny nasycené pod tlakem rozpuštěným vzduchem. Dochází zde ke vzniku agregátů spojením vloček či suspendovaných látek s mikrobublinami vzduchu, které jsou unášeny k hladině, kde vzniká tzv. zóna bílé vody. Ta v podstatě tvoří zónu vyflotované pěny. Pěna se z hladiny odstraňuje pomocí shrabováku a přes odpadní jímku odtéká do kalového hospodářství. Jímka i odtokové potrubí se musí pravidelně proplachovat. Pod zónou vyflotované pěny se nachází zóna vyflotované vody, která se odebírá pomocí dnového roštu a přes odtokovou jímku odtéká na filtraci, která tvoří při úpravě vody druhý separační stupeň. Část upravené vody se však čerpá vedlejším okruhem do saturátoru, kde se vyrábí směs vody a vzduchu, tzv. bílá voda. Saturátor je nezbytnou součástí flotace a tvoří vedlejší tlakový okruh. K saturátoru patří kompresor, který do něj přivádí stlačený vzduch. Z celkového objemu upravované vody se 6–12 % spotřebuje ve vedlejším okruhu. [11]



Obr. 2.7 Schéma klasického uspořádání zařízení flotace [12]

Flotace rozpuštěným vzduchem je vhodná jako první separační stupeň při úpravě povrchové vody s nižším stupněm zákalu a vysokým obsahem organických látek včetně látek huminových. Pro vysokou účinnost odstraňování organismů z vody je ve světě často používána pro odstraňování řas a sinic z eutrofizovaných vod. [11]



Obr. 2.8 Oblasti vhodného výběru separačních procesů [13]

2.2 FILTRACE

2.2.1 Filtrace s drenážním systémem Leopold

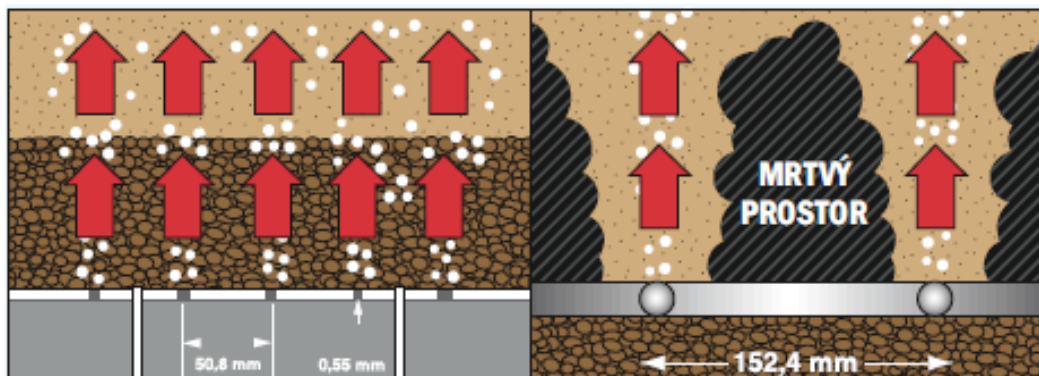
Firma Leopold vyrábí drenážní systémy Type S a Type SL. Konstrukce je z polyethylenu s vysokou hustotou (HDPE), což zaručuje pevnost a odolnost proti korozi. Hladký povrch snižuje počet vzniku vápenných depozitů.

Technologie typu S má unikátní kanál pro zajištění vyváženého proudění vody po celé délce drenážního systému, díky němuž je dosahována vynikající účinnost praní filtrů vzduchem a vodou. U jiných konstrukcí drenážního systému může docházet ke vzniku mrtvých koutů. To je zapříčiněno větší vzdáleností otvorů pro práci média. V těchto místech nedojde ke vzhledu filtračního média pomocí vzduchu a praní filtru se tak stává neúčinným. [14]

Distribuce pracího vzduchu je rovnoměrně rozložena po celé ploše filtru, což umožňuje dosáhnout vynikajících pracích výsledků, a to i při různém složení vrstev filtračního média. U některých drenážních systémů je kvůli omezenému průtoku vzduchu limitováno nebo dokonce zabráněno pulznímu praní vzduchem.

Starší typy drenážních systémů vyžadovaly toleranci uložení 3 mm. Technologie Type S je vybavena vnitřními zážkami, které dále snižují citlivost instalace na uložení a drenážní systém může být namontován až s tolerancí 6,5 mm. To může být příznivé zejména u rekonstrukcí starších úpraven, kde posuzování stavebních částí nebylo tak přísné. [14]

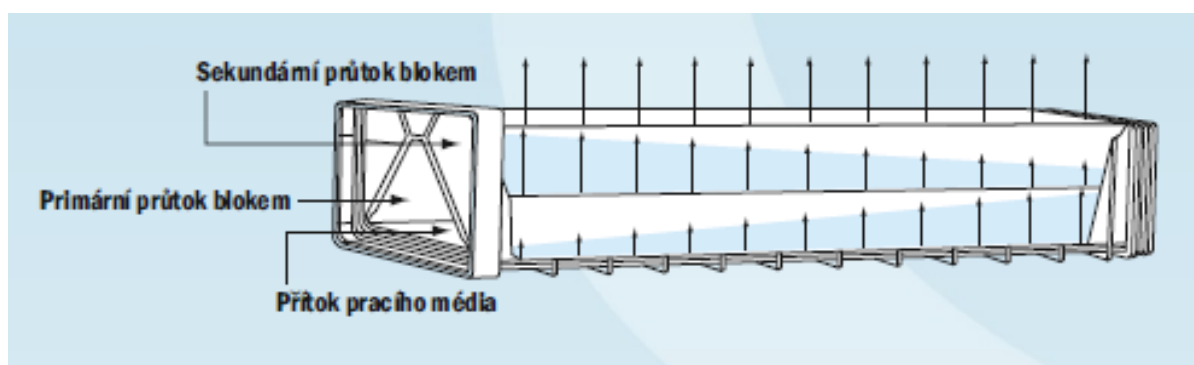
Rychlá montáž a příznivější montážní tolerance zároveň snižují investiční náklady na rekonstrukci stávajícího či nového filtru. Zlepšení celkového výkonu filtru vede ke zkvalitnění upravené vody a prodloužení filtračního cyklu, čímž jsou sníženy provozní náklady na úpravu vody.



Obr. 2.9 Praní filtru [14]

Výrobce zaručuje rovnoměrný rozvod pracího média v každém otvoru drenážního systému, a to i při zvlášť dlouhých délkách podélných profilů (až do 30 metrů délky u filtrů s centrálním přívodem pracího média). Je toho dosaženo tím, že otvory v sestavené drenáži, které jsou nejdále od zdroje pracího média, sice proudí více vody a vzduchu a vznikají rozdíly v průtoku podél primárního kanálu jednotlivých bloků. Každý nevyvážený průtok směrem od místa přítoku pracího média vytváří odpovídající průtok opačným směrem, a tím je dosaženo celkového vyrovnaní průtoku medií. Výsledkem jsou stejnoměrné průtočné podmínky po celé délce bloku. Tato technologie je obzvláště vhodná pro montáž ve velkých filtrech, kdy je třeba instalovat delší profily. [14]

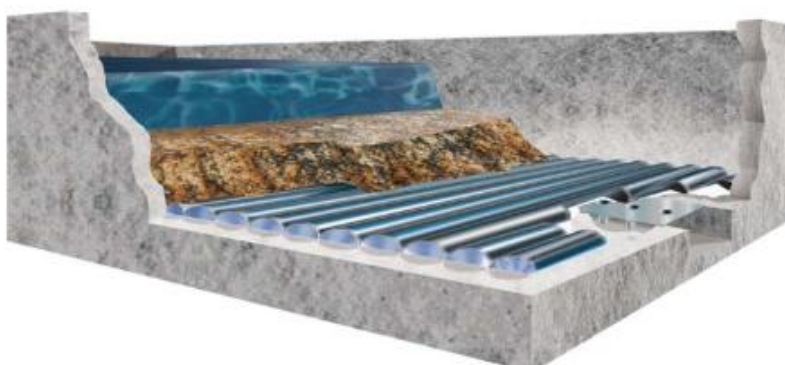
Drenážní systém Type SL je nižší (o 101,6 mm) a je tedy vhodný pro menší či mělké filtry, kde je potřeba vyšší náplň filtračního materiálu. [14]



Obr. 2.10 Blok drenážního systému Leopold [14]

2.2.2 Filtrace s drenážním systémem Triton

Tento drenážní systém nabízí komplexní řešení problémů u filtrů určených k úpravě vody. K zajištění výjimečné výkonnosti drenážního systému filtru využívá tento systém světově známou technologii drátových filtrů Johnson. Konstrukce systému sestává ze dvou samostatných ploch, které plní funkci gravitační drenáže dna filtru. Vnější drenážní povrch parabolického tvaru s navinutými nerezovými dráty tvaru „V“, které zabraňují ucpávání štěrbin mezi dráty mechanickými nečistotami, se může v případě potřeby velice snadno očistit zpětným tokem filtrátu. Otevření „V- drátů“ dovoluje kontakt pevných částic s drátem pouze ve dvou bodech. Bodové svařování na styku drátu a „U“ nosníku zaručuje silnou a tuhou konstrukci celého systému.



Obr. 2.11 Drenážní systém Triton [15]

Značně velká plocha otevření vnějšího povrchu ovlivňuje vysokou schopnost průtočnosti filtrátu a vysokou schopnost zachycení mechanických částecek na obálce filtračního segmentu a to během celé životnosti výrobku. Toto zajišťuje velmi nízké průtokové rychlosti filtrátu a zachycení jemných částecek. Drenážní systém Triton si tak udržuje svou vynikající výkonnost i při průtokových rychlostech filtrátu.

Vnitřní povrch drenáže poskytuje nutnou podpěru vnějšímu povrchu. Velmi pevná konstrukce montážních částí filtračních segmentů a různé průměry průtočných otvorů na vnitřních U-profilech má následující výhody:

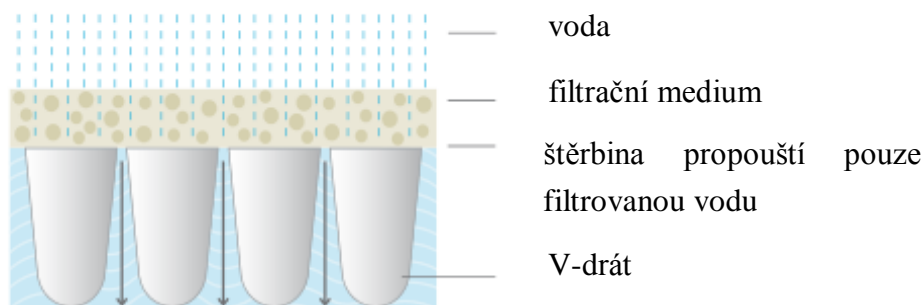
- rovnoměrnou distribuci toku kapaliny v režimu filtrace i během fáze zpětného praní,
- rovnoměrné rozdělení vzduchu během fáze zpětného praní,
- vysokou mechanickou pevnost konstrukce filtru.[16]



Obr. 2.12 Konstrukce systému Triton [15]

Veškerý materiál je vyroben z nerez oceli (kromě těsnících podložek). Tím je zajištěna lepší odolnost proti korozi, mechanická pevnost a delší životnost filtračního systému. Systém je převážně dodáván v nerez oceli 304 L nebo 316 L. Firma vyrábí systém i v provedení v PVC, které je obzvláště vhodné z důvodu úspory nebo využití při filtraci mořské vody.

Díky technologii „V-drátu“ vyvinuté a zavedené společností Johnson se riziko ucpávání štěrbin filtru snižuje a povrch filtračního segmentu se snadno v případě potřeby očistí (během posledních deseti let se nevyskytl ani jeden případ ucpání tritonových filtrů jakýmkoliv materiálem). [16]



Obr. 2.13 Princip filtrace [17]

Spodní vrstva hrubozrnného štěrku není nutná, poněvadž můžeme vyrobit filtr, který se bude hodit pro jakoukoli zrnitost filtračního media. Segmenty Tritonu mají nízký profil, z tohoto důvodu se může zvýšit hloubka filtračního media a tudíž i náklady na instalaci a údržbu tohoto drenážního systému se tak mohou snížit. [16]

Správná volba štěrbin umožňuje změnit písek na aktivní uhlí, aniž by bylo nutné změnit konstrukci systému. Pokrytí vnější filtrační plochy filtračním médiem je větší (cca o 25%) než je tomu u plochého filtru s tryskami a tím se redukuje mrtvé zóny. [16]

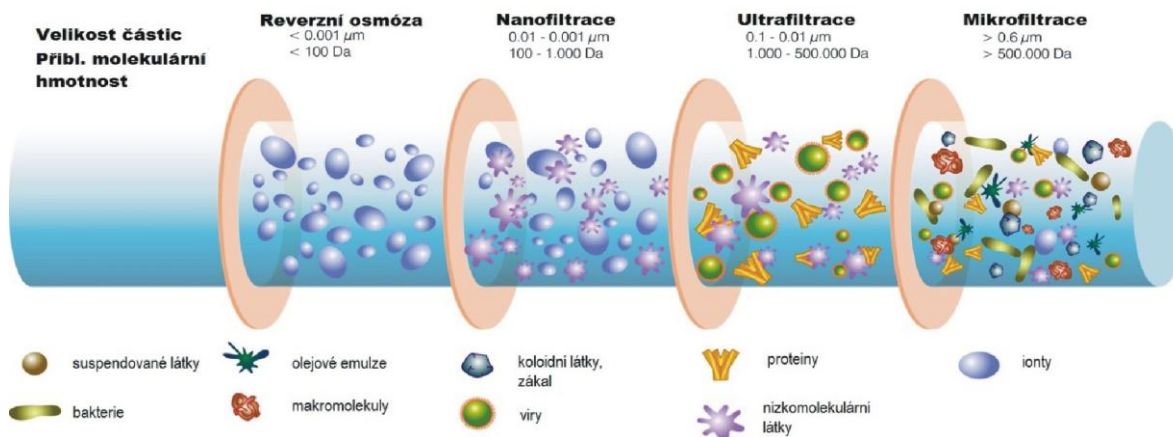
Drenážní systémy Triton jsou kompatibilní se zatížením filtrů tokem filtrátu o rychlosti nejméně 12 m/h a mohou odolávat větším tlakům vody a vzduchu více než ploché drenážní systémy tryskového typu. Patentovaný vnitřní povrch umožňuje během filtrační i prací fáze rovnoměrnou distribuci toku vzduchu a vody. [16]

2.2.3 Membránová filtrace

Využití membránových procesů zaznamenalo v posledním desetiletí nejvýraznější rozvoj, který ve významné míře způsobil pokles v ceně membrán a zároveň nám blíže umožnil seznámit se s výhodami této technologie. Uplatnění nachází díky změnám podmínek a požadavků v různých oblastech: od opětovného využití pracích vod pískových filtrů přes úpravu povrchové nebo podzemní vody. [18]

V produkci pitné vody se běžně užívá následujících 5 membránových procesů:

- reverzní osmóza
- nanofiltrace
- ultrafiltrace
- mikrofiltrace
- elektrodialýza / obrácená elektrodialýza.



Obr. 2.14 Rozdělení membránových procesů podle stupně separace [19]

Membrány se zhotovují z látek přírodního původu např. z acetátové celulózy nebo ze syntetických materiálů např. polyamidů. V současné době se vyrábějí také membrány keramické a to na bázi Al_2O_3 a ZrO_2 . Vynikají mechanickou, chemickou, tepelnou i mikrobiologickou stálostí a snadno se regenerují. Nevýhodou je jejich náročná příprava, značná hmotnost a vyšší cena než membrán syntetických. [11]



Obr. 2.15 Keramické membrány [20]

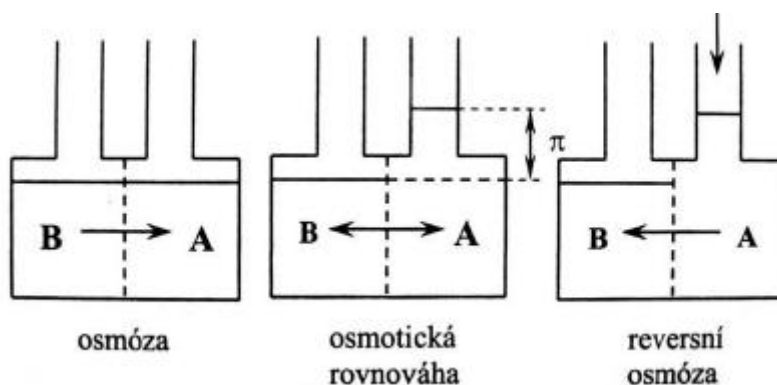


Obr. 2.16 Membrány z PVDF vláken [21]

Membrány rozdělujeme do tří skupin:

- symetrické (izotropní) - např. membrány z acetátové celulózy
- asymetrické (anizotropní) - složené ze dvou vrstev (nosné a filtrační), obě vrstvy jsou ze stejného materiálu, mechanicky odolnější než membrány symetrické, nepodléhají oxidaci, snášejí vyšší teploty i změny pH
- kompozitní - jejich struktura je asymetrická, tvoří několik vrstev (až 8) z různých materiálů organického i anorganického původu.[11]

Membrána tvoří bariéru mezi dvěma fázemi. Vlivem rozdílného potenciálu dochází k přestupu molekul do roztoku a tím k jeho zředění. Tento jev je označován jako přirozená osmóza. V rovnováze se rozdíl tlaku na obou stranách membrány rovná osmotickému tlaku systému. Působí-li se na roztok vyšším tlakem než odpovídá jeho osmotickému tlaku, přecházejí molekuly rozpouštědla membránou v opačném směru než při osmóze. Proces je označován jako reversní osmóza. [11]



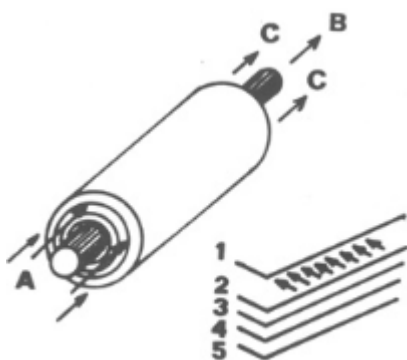
Obr. 2.17 Funkce membrány [11]

Hlavní hnací silou pro dosažení separace je tlakový gradient na membráně. Výkon membrány je vyjádřen jako průtok membránou. Pro čistou vodu je průtok přímo úměrný tlaku na membráně. [11]

Důležitými prvky jednotky jsou vysokotlaké čerpadlo, modul nebo skupina modulů s membránou a ventil v okruhu odvádění solanky, udržující tlak v systému.

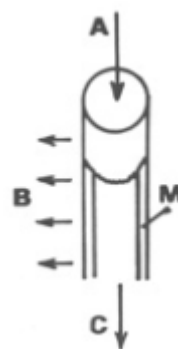
Moduly, v nichž probíhá úprava vody, lze podle druhu a umístění membrány rozdělit na:

- moduly s plošnou membránou
- moduly se spirálovou membránou
- moduly s tubulární membránou
- moduly s dutými polyamidovými vlákny. [11]



Obr. 2.19 Schéma modulu s tubulární membránou [9]

Pozn. A - surová voda, B - permeát, C - solanka, 1,3 - membrána, 2 - sběrač permeátu, 4 - distanční podložka, 5- ochranný plášť



Obr. 2.18 Schéma modulu se spirálovou membránou [9]

Pozn. A - surová voda, B - permeát, C - solanka. M - membrána

Tab. 2.1 Příklad provozních výsledků technologie NF– NL a dusičnany [42]

	Surová voda	Upravená voda
Průměrný zákal (NTU)	18	0.1
Maximální zákal (NTU)	82	0.26
Průměrná konc. NO_3^- (mg/l)	37	12
Maximální konc. NO_3^- (mg/l)	52	18

Tab. 2.2 Příklad provozních výsledků technologie NF - rozpuštěné látky [42]

	Surová vody	Upravená voda
Vodivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	3580	131
Alkalinita ($^{\circ}\text{F}$)	50	1.1
Tvrdost ($^{\circ}\text{F}$)	150	1.1
Sírany ($\text{mg SO}_4^{2-}/\text{l}$)	1754	28
Sodík ($\text{mg Na}^+/\text{l}$)	460	24

Tab. 2.3 Porovnání účinnosti odstranění dusičnanů a některých pesticidů různými membránami [42]

	NF membrány	NF membrány	NF membrány	RO membrány	RO membrány
Typ	NF70	NF200	NF90	ULP	ESPA
Dusičnany	65 %	20 %	80 %	85 %	90 %
Pesticidy					
Atrazin	85 %	90 %	95 %	95 %	> 98 %
Simazin	70 %	80 %	95 %	95 %	> 98 %
Isoproturon	60 %	80 %	95 %	95 %	> 98 %

2.2.4 Adsorpční materiály

Při styku tekutiny se zrnitou pevnou fází, obvykle velmi porézní, dojde k navázání rozpuštěných látek na povrch pevné fáze, tzv. adsorbentu. Mezi nejznámější adsorpční materiály patří Greensand, Birm, Klinopur-Mn, MTM, CFH, Bayoxide E 33, GEH, Pyroluzit.

Greensand se používá na odstranění železa, manganu a nízkých koncentrací sirovodíku. Dále je možno ho použít při odstranění arzenu nebo rádia při koprecipitaci, což je společné vylučování dvou nebo více málo rozpustných látek z roztoku srážením. Tento materiál je vyroben aktivací glaukonitického zeolitu síranem manganatým a manganistanem draselným. Jeho povrch obsahuje vyšší oxidy manganu, které autokatalyticky oxidují železo a mangan na nerozpustné oxidy. Pro regeneraci náplně se využívá manganistan draselný. [18] [22]

Birm je adsorbent využívaný na odstranění rozpuštěného železa a manganu. Jedná se o granulované medium dovážené z USA. Na povrchu se nachází vrstva MnO_2 . Působí jako nerozpustný katalyzátor, který urychluje reakci mezi rozpuštěným kyslíkem a sloučeninami železa. Používá se v rozsahu pH 6,8-9,0 přičemž by koncentrace volného chloru neměla být nižší než 0,5 ppm. [18] [22]

Klinopur-Mn je adsorbent na bázi přírodního zeolitu, který se využívá při odstraňování železa a manganu. Na zrnkách klinoptilolitu je průmyslně vytvořena vrstvička z oxidu manganu. Výhodou tohoto materiálu je nižší měrná hmotnost, která snižuje množství prací vody oproti preparovaným pískům. Vlastnostmi je podobný s Birmem. [18] [22]

MTM je granulovaný oxid manganičitý používaný na redukci železa, manganu a sirovodíku. Je možné ho použít pro vody s pH 6,2-8,5, zároveň voda nesmí obsahovat rozpuštěný kyslík. Po vyčerpání oxidační kapacity filtračního materiálu je potřebná regenerace roztokem manganistanu draselného. Lehká hmotnost tohoto materiálu redukuje množství prací vody, což jej v porovnání s ostatními materiály zvyhodňuje. [18] [22]

CFH adsorbent byl vyvinut společností Kemira ve Finsku. Jedná se o granulované medium na bázi oxidu hydroxidu železa využívané na odstranění arzenu z vody. Výhodou tohoto materiálu je snadná manipulace a téměř žádné požadavky na skladování materiálu. Praní tohoto materiálu je možné vodou i vzduchem. Do ČR je dovážen společností Kemwater ProChemie s.r.o., Bakov nad Jizerou. Na trhu se objevují 2 typy tohoto materiálu s označením CFH 12 a CFH 0818. Rozdíl v těchto materiálech je v zrnitosti. [23]

Bayoxide E 33 je adsorbent z granulovaného oxidu železitého vyvinutý speciálně na odstraňování arzenu. Byl vyvinut společností Severn Trent ve spolupráci se společností Bayer AG. Systém pro odstranění arsenu byl nazván SORB33. Výhodou tohoto systému je odstraňování As^{III} a As^{V} spolu s odstraněním železa a manganu. Udávaná schopnost úpravy vody je při obsahu arsenu $11\text{--}5000\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ a obsahu železa $50\text{--}10000\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. [23]

GEH (granulovaný hydroxid železitý) se využívá při odstraňování arzenu. Byl vyvinut na Berlínské univerzitě na katedře Kontroly kvality vody. Tento hydroxid je syntetizovaný z kvalitních základních surovin. Toto je zárukou, že nežádoucí látky nepřecházejí do vody a nezpůsobují změnu pH. GEH má vysokou adsorpční kapacitu až 60g/kg pro arzen a fosfát. Je možné jej aplikovat na odstraňování antimonu, mědi, olova, vanadu, selenu, fosforečnanů a organických látek. Ve fungujících systémech může být využíván po dobu 36 měsíců, než se vyčerpá. [18] [22] [23]

Pyrulozit je v přírodě se vyskytující oxid manganičitý. Využívá se pro odstranění železa a manganu z vody. Je distribuován pod obchodními názvy jako například Pyrolox, Filox-R a MetalEase. Pyrulozit může být použit dvěma způsoby, a to jako směs s pískem v 10-50 % objemových, čímž se dosáhne filtrace i oxidace v jednom technologickém kroku. Druhým způsobem je instalace 100 % vrstvy pyrulozitu ve vícevrstevné filtraci, kde poskytne oxidaci i filtraci. Není požadována chemická regenerace. [18]

Mezi další používané adsorpční materiály patří Everzit, což je granulovaná směs oxidů Mn, Fe, Si a Al používána na odstraňování rozpuštěného železa a manganu. Využití najde zejména u vod, které mají pH nad 6,5. [22]

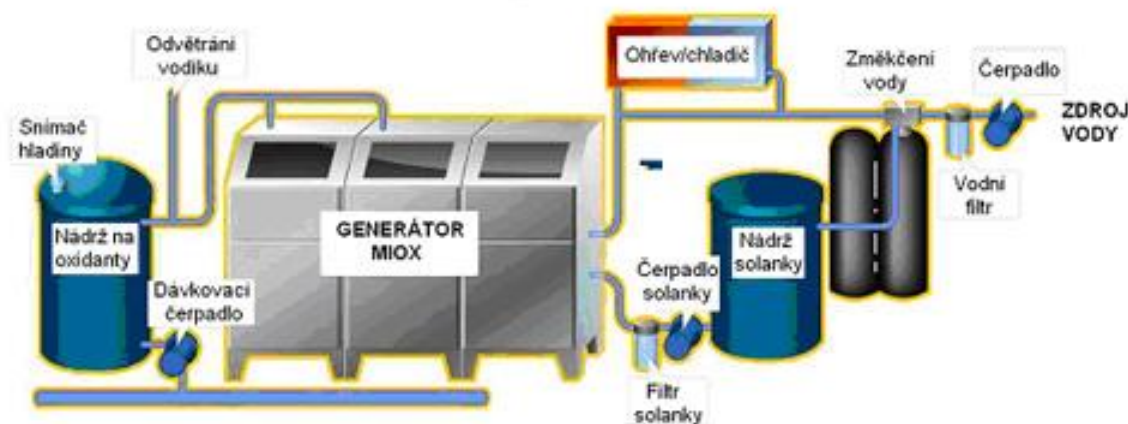
Využití těchto adsorpčních materiálů představuje efektivní a ekonomicky přijatelnou metodu pro odstranění především kovů z vody.

2.3 DEZINFEKCE UPRAVENÉ VODY

2.3.1 Technologie MIOX

V této technologii se využívá pouze sůl, voda a elektrina k výrobě velmi zředěného roztoku chloru elektrolyzou koncentrované solanky. Použití zařízení MIOX pro výrobu dezinfekčního roztoku v místě eliminuje transport a skladování nebezpečného plynného chlóru nebo chlornanu sodného. Technologie byla plně akceptována americkou vládou společností pro ochranu životního prostředí a veřejného zdraví U.S.Environmental Protection Agency (US EPA) a byla mezinárodní organizací NSF International certifikována jako netoxická. [4]

Pro napájení elektrolyzátoru je potřeba měkká voda. Koncentrovaný roztok chloridu sodného je čerpán do elektrolyzátoru. Elektrolyzou ze slané vody je pak vyráběn chlór. Sůl je skladována mokřým způsobem v zásobnících s intervalem doplňování od 1 týdne. Vyrobené směsné oxidanty jsou skladovány v nádrži na oxidanty. Výroba a spotřeba oxidantů probíhá ve 24hodinovém cyklu a umožňuje, aby bylo zařízení navrženo na maximální denní kapacitu s využitím období s nižší cenou elektrické energie. [24]



Obr. 2.20 Schéma technologie výroby směsných oxidantů [24]

Výkonnost směsných oxidantů MIOX jasně ukazuje mnohem aktivnější chlor-kyslíkovou chemii než tradiční chlorace. Dalším přínosem této technologie je její jednoduchost, účinnost a stabilita dezinfekce vody. [24]

2.3.2 Membránové procesy

V blízké budoucnosti by měla být membránová mikrofiltrace zařazena jako první stupeň při úpravě vody. Za ní by měly být zařazeny další membránové procesy jako ultrafiltrace a nanofiltrace, při nichž dochází k odstranění látek, které nebyly agregovány ve vločkách.[19]

Technologie membránové filtrace využívá polopropustné membrány na odstraňování mikroorganismů, organických i anorganických látek z vody. Pro patogenní organismy (jako např. Giardia nebo Cryptosporidium) představují membrány absolutní bariéru. Dochází tak k dezinfekci vody bez použití chemických činidel a bez vzniku vedlejších produktů dezinfekce.[19]

3 PŘÍKLADY VYUŽITÍ NOVÝCH TECHNOLOGIÍ V PRAXI

3.1 LAMELOVÁ VESTAVBA

3.1.1 ÚV Hajská

Zdrojem surové vody pro úpravnu Hajská je prameniště podzemní vody. Využívaná část prameniště Hajská dnes zahrnuje hlavně dvě sběrné studny propojené násoskovým řadem. Průměrný výkon úpravny je 22 l/s a havarijný výkon činí 50 l/s. [25]

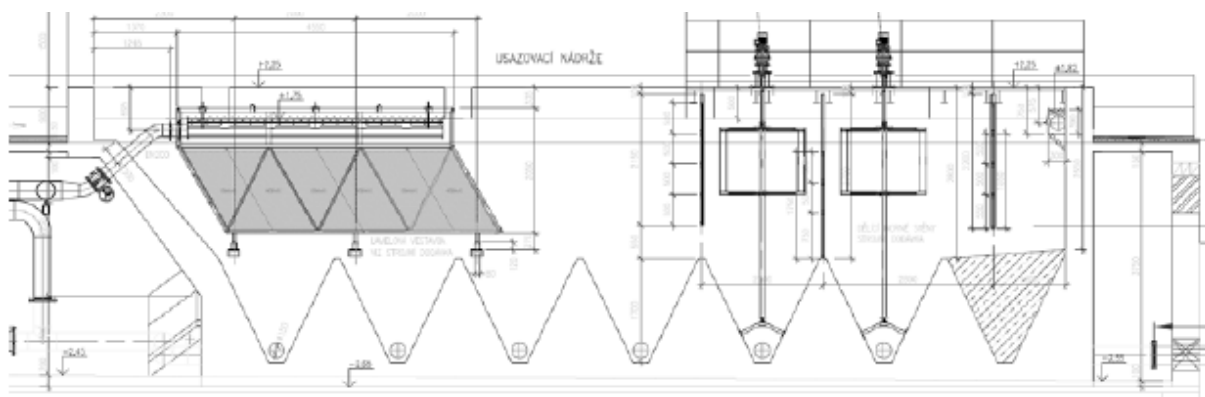
V roce 2009 byla dokončena předprojektová a projektová příprava modernizace úpravny. V roce 2010 byly zahájeny stavební a technologické práce a v průběhu roku 2011 byla rekonstrukce dokončena. [25]

Při rekonstrukci technologické části úpravny vody, která byla v provozu desítky let, byla zvolena řada moderních technologických zařízení s cílem dosáhnout potřebného efektu při výrobě pitné vody. V rámci rekonstrukce bylo ověřeno použití dvou nově navrhovaných technologických zařízení - aeračního injektoru a lamelové vestavby. [25]

Pro provzdušnění surové vody jsou navrženy tři paralelně pracující injektory. Za injektory se nachází odvětrávací věž. Do potrubí mezi odvětrávací věž a sedimentační nádrž je dávkováno vápenné mléko a chlor pro předoxidaci. Z odvětrávací věže natéká voda do flokulační zóny prvního separačního stupně, sedimentační nádrže s pádlovými míchadly a lamelovou vestavbou. Z prvního separačního stupně je voda čerpána čerpadly do 4 nových tlakových filtrů průměru 2,5 m s filtračním pískem a antracitem. Filtrovaná voda je z prostoru filtrace odváděna potrubím do akumulace upravené vody. Dále je potrubí osazeno jednotkou pro UV záření sloužící k desinfekci. Za ní je dávkován chlor a síran amonný. [25]

Hlavním a provozovatelem požadovaným cílem bylo ověření hydraulického zatížení lamelové vestavby za stávajících podmínek tvorby separované suspenze a současné sledování funkce z hlediska tvorby úsad na stěnách kanálů lamelové vestavby. [25]

Ověření funkce lamelové vestavby bylo realizováno instalací lamelové vestavby EP-K2 do stávající sedimentační nádrže. V průběhu testování kolísal obsah Fe v surové vodě od 9 do 22 mg/l. Nádrže byly paralelně provozovány při zatížení modelu lamelové vestavby od 4,5 do 11 m/hod. Ve všech testech měla lamelová vestavba při výrazně vyšším povrchovém zatížení stejnou nebo lepší účinnost jako stávající sedimentační nádrž. Po ukončení měření byla voda ze sedimentační nádrže vypuštěna a bylo provedena vizuální kontrola. V kanálech lamelové vestavby nebyly zjištěny žádné úsady. [25]



Obr. 3.1 Náčrtek separačního stupně - podélný řez nádrží [25]

3.2 FLOTACE

3.2.1 ÚV Mostiště

Úpravena Mostiště se nachází na Českomoravské vrchovině nedaleko Velkého Meziříčí a slouží k zásobování pitnou vodou okresu Žďár nad Sázavou a Třebíč. Surová voda je odebírána z vodárenské nádrže Mostiště, která je umístěna na řece Oslavě. V této nádrži je největším problémem eutrofizace, která zhoršuje jakost surové vody. [26]

Za téměř 50 let provozu byla provedena na konci 80. let intenzifikace úpravy - zvýšení výkonu na 220 l/s a dále dílčí výměny některých zařízení. V rámci havarijních opatření, která byla vyvolána zásadním snížením hladiny ve vodárenské nádrži, byla v roce 2005 provedena instalace technologie flotace. Tato technologie byla zařazena jako první separační stupeň pro cca polovinu maximálního výkonu. [26]

Poloprovozní zkoušky byly prováděny v období 2004-2005 a zaměřovaly se především na návrh prvního separačního stupně. Zkoušky probíhaly na mobilních provozních zařízeních. Dne 28.11.2005 bylo flotační zařízení uvedeno do provozu a stalo se tak první procesem flotace v zemích střední a východní Evropy. [26]

Surová voda je přiváděna z nádrže na provzdušňovací kaskádu, kde je na odtoku dávkován koagulant, kterým je 41% roztok $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Dále následuje hydraulický míšič. Odtud vzniklá suspenze pokračuje do flotačního zařízení. Voda je dále vedena na pískové filtry. Desinfekce vody je prováděna pomocí Cl_2 a ClO_2 a pH je upraveno vápennou vodou. [27]



Obr. 3.2 Flotační jednotka [12]



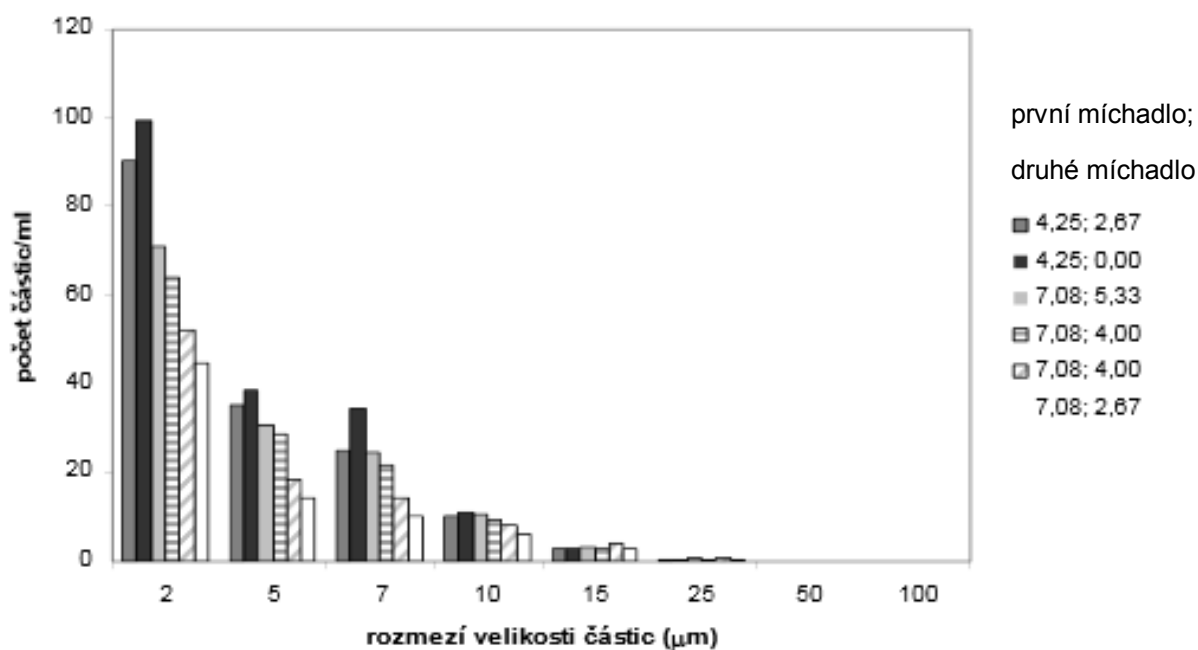
Obr. 3.3 Shrabování kalu [28]

Pomocí analyzátoru byla na výtoku z flotace měřena distribuce částic. Měření bylo prováděno při změně intenzity míchání a shrabování kalu. Intenzita míchání byla měněna pouze v nádrži 2. Nádrž 1 fungovala jako retenční. Nejvhodnější nastavení intenzity míchání je 7,08 ot/min pro první míchadlo a 2,67 ot/min pro druhé míchadlo, což je patrné z grafu.

Tab. 3.1 Podmínky a výsledky měření při různé rychlosti míchání [27]

č. měř.	t (°C)	intenzita míchání %		rychlost míchání ot./min.		D (mg/l)		zbyková koncentrace Fe (mg/l)		
doba měření (2 hod.)	teplota vody	M1	M2	M1	M2	dávka síranu	zákal (NTU)	nádrž 1	nádrž 2	rozdíl koncentrací
1	17,10	60	40	4,25	2,67	38,87	0,301		0,328	
2	17,10	60	0	4,25	0,00	38,87	0,317	0,401	0,321	0,080
3	17,10	100	80	7,08	5,33	38,87	0,361	0,344	0,191	0,153
4	17,00	100	60	7,08	4,00	38,81	0,335	0,486	0,234	0,252
5	17,10	100	60	7,08	4,00	39,70	0,243	0,108	0,281	0,141
6	17,20	100	40	7,08	2,67	38,64	0,247	0,449	0,362	0,087

Porovnání počtu částic/ml při různé rychlosti míchání



Obr. 3.4 Výsledky měření analyzátozem částic při různé rychlosti míchání [27]

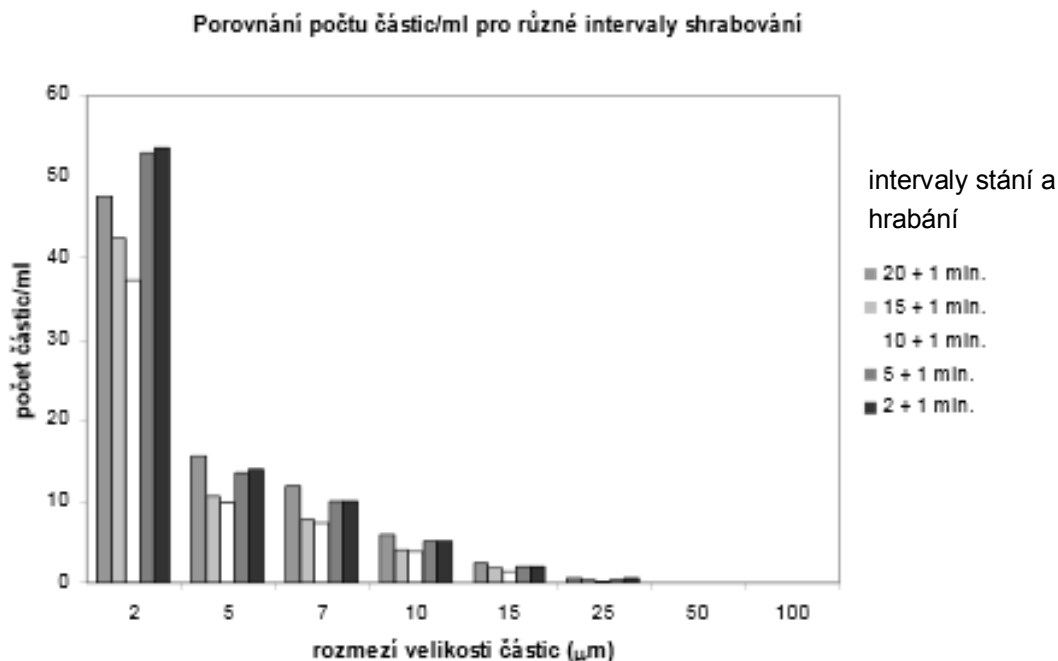
Při změně intervalu shrabování kalu sloužila nádrž 1 opět k retenci.

Tab. 3.2 Podmínky a výsledky měření při různých intervalech shrabování kalu [27]

č.měř.	t (°C)	shrabování				D (mg/l)		zbyková koncentrace Fe (mg/l)		
doba měření (2 hod.)	teplota vody	prodleva (min.)	hrabání (min.)	rychlost shrabování %	rychlost (cm/min.)	dávka síranu	zákal (NTU)	nádrž 1	nádrž 2	rozdíl koncentrací
1	17,00	20	1	30	61,0	37,41	0,247	0,524	0,373	0,151
2	17,00	15	1	30	61,0	37,41	0,250	0,424	0,363	0,061
3	17,00	10	1	30	61,0	38,33	0,237	0,405	0,356	0,049
4	17,00	5	1	30	61,0	37,65	0,249	0,539	0,490	0,049
5	17,00	2	1	30	61,0	37,65	0,251	0,586	0,574	0,012

Při porovnání výsledků z analyzátoru částic pro různé intervaly shrabování bylo zjištěno, že nejvhodnější byl interval 10 min. stání a 1 min. hrabání. Při nižších intervalech se počet částic zvýšil. To platilo i pro zákal. Pro koncentraci zbytkového železa byl nejvhodnější interval 20 min. + 1 min. Při nižších intervalech došlo pouze k nepatrnému zhoršení, ale zvýšila se spotřeba energie. [27]

Vliv rychlosti míchání, délky intervalu a frekvence shrabování se projeví na kvalitě vody. Větší vliv má změna intenzity míchání. Optimalizací těchto provozních parametrů dojde ke snížení počtu částic obsažených ve vodě, což má příznivý vliv na další stupeň úpravy. Prodlouží se tak doba provozu pískových filtrů, které nebudou vyžadovat tak časté praní. [27]



Obr. 3.5 Výsledky měření analyzátozem částic při různých intervalech shrabování kalu [27]

3.2.2 ÚV Jirkov

Úpravna vody Jirkov byla uvedena do provozu v roce 1967. Surová voda je odebírána z vodárenské nádrže Jirkov ležící na řece Bílina. Na úpravně byl při rekonstrukci snížen výkon z původních 280 l/s na 150 l/s, který bude možno krátkodobě zvýšit na 190 l/s. Díky svému umístění je úpravna určena především pro zásobování města Chomutov a jeho nejbližšího okolí. Surová voda je charakteristická obsahem huminových látek, proměnlivým CHSK_{Mn} , sezónním výskytem mikroorganismů a občasným výskytem Mn. [29]

Po 40 letech provozu začalo být zařízení úpravně značně opotřebené, proto bylo nutné přistoupit k rekonstrukci a modernizaci. V rámci předprojektové přípravy proběhly v roce 2007 poloprovozní zkoušky, ve kterých byla posouzena vhodnost nově zvolených technologií. V roce 2010 byla projektová příprava dokončena. Rekonstrukce úpravně byla zahájena v roce 2011 a skončila v prosinci 2012. Úpravna je v současné době ve zkušebním provozu.

Pro první separační stupeň byly zvoleny dvě flotační jednotky DAF, které byly vybudovány v prostoru bývalé druhé linky filtrace. Střední návrhový průtok každé jednotky je 50 l/s. Pěna je z jednotek stahována hydraulicky a odváděna do vyrovnávací odpadní nádrže. Jako druhý separační stupeň byla na úpravně zařazena písková filtrace. Během rekonstrukce byly ponechány pouze obvodové stěny vany filtrů a dovnitř vestavěny tři zcela nové rychlofiltry s drenážní systémem Leopold, každý o ploše cca 33 m². [29]



Obr. 3.6 Nová hala - flotace a filtrace [30]



Obr. 3.7 Flotační jednotka [30]

3.3 DRENÁŽNÍ SYSTÉM TRITON

3.3.1 ÚV Kroměříž

Rekonstrukce ÚV Kroměříž byla zahájena v červnu 2012. Původní úpravná byla vybudována a uvedena do provozu v roce 1978. Zdrojem vody byla převážně surová podzemní voda z pramenišť Hradisko, Postoupky, Miňuvky, Podzámecká zahrada, Břest, Břestský les, Plešovec a Hulín. Úpravná je největším zásobovatelem pitné vody na Kroměřížsku. [31]

Stávající úpravná byla v provozu více než 35 let, proto bylo nutné modernizovat strojní a technické zařízení.

Původní výkon úpravní byl 200 l/s. Jednalo se o dvoustupňovou úpravnu, kde jednotlivé stupně separace tvořila sedimentace s následnou rychlofiltrací na otevřených pískových filtrech s mezidny s tryskovým drenážním systémem. [31]

Technologie úpravní po rekonstrukci sestává z oxidace Fe a Mn ozonem a dále flokulace, sedimentace, filtrace, odkyselení filtrované vody na aeračních věžích a desinfekce plynným chlorem. Voda bude po úpravě čerpána do zemního vodojemu Babořina. [31]

Maximální výkon rekonstruované úpravní je 170 l/s. Pro čtyři filtrační jednotky byl navržen drenážní systém Triton. Plocha jedné filtrační jednotky je 37 m². Rekonstrukce byla rozdělena do dvou etap. V první etapa byla dokončena v listopadu 2012. Dokončení druhé etapy bude v polovině roku 2013. [31]

V případě úpravní vody Kroměříž byla použita standardní šířka štěrby 0,3 mm, překrytí segmentů bylo provedeno původním pískem FP 2. Celková vrstva filtračního lože dosahuje

cca 1,50 m. Filtrační plocha jednoho filtru s Tritonem je 40,81 m², což je o 11,2% víc než u předchozího plochého tryskového systému. Celková doba montáže dvou filtrů činila 8 dní včetně bublinkových testů. [31]



Obr. 3.8 Montáž Tritonu ve filtru [31]



Obr. 3.9 Drenážní segment [31]

V průběhu 1. dekády prosince 2012 byly oba filtry vyprány v sedmi pracích cyklech s vynikajícími výsledky co se týká rovnoměrného rozdělení pracího média po celé ploše filtru. Denně byly odebírány vzorky vody za každým filtrem a zjišťován obsah Fe a Mn. Na začátku byla koncentrace Mn zvýšená, ale časem se snížila na předepsanou hodnotu. Obsah Fe byl od prvních odběrů v normě. Kvalita filtrátu je výborná. Voda splňuje požadavky vyhlášky na kvalitu pitné vody č.252/2004 Sb. [31]

3.3.2 ÚV Štítná nad Vláří

V průběhu rekonstrukce ÚV ve Štítná nad Vláří v roce 2010 byl na dvou filtrech o celkové ploše cca 32 m² poprvé v ČR nainstalován nerezový drenážní systém Triton od fy Johnson Screens. Tento systém splňuje hygienické požadavky na výrobky přicházející do styku s pitnou vodou a má certifikát SZÚ Praha pro použití k trvalému styku s pitnou vodou v rámci České republiky ve smyslu zákona č.258/2000Sb. a vyhlášky MZ ČR č.409/2005 Sb.[32]

V lednu 2010 byly zahájeny stavební práce a posléze bylo provedeno odtěžení starého filtračního písku FP2 a byla zahájena demolice mezidna v první komoře, druhý filtr byl v chodu v normálním provozu. Počátkem února byly zaměřeny délkové a šířkové rozměry první filtrační komory a výkresová dokumentace byla upravena na skutečné rozměry.[32]

Montáž prvního filtru na ploše 16 m² včetně bublinkového testu byla provedena během 3 dnů - celkem 9 hodin intenzivní práce na dně komory. Bublinkový test proběhl při hladině vody cca 30-40 cm nad drenážními segmenty Triton při výkonu dmychadla 50% (11 l·s⁻¹/m²) a 90% (20 l·s⁻¹/m²) při výstupním tlaku na dmychadle cca 16 kPa. Tento test ověřil propustnost drenážního systému v celé ploše filtru a bylo nutno ho opakovat při zatížení filtračním médiem.[32]

Po dokončení rozvodu prací vody a vzduchu byl drenážní systém Triton překryt vrstvou původního filtračního písku FP2 (0,80 m) a PR 1-2 (0,60 m) o celkové výšce 1,40 m nad drenážními segmenty Triton.[32]

Tab. 3.3 Srovnání filtračních cyklů před a po rekonstrukci [32]

parametry filtrace/praní	1.filtr	1.filtr	2.filtr
	před rekonstrukcí	po rekonstrukci	po rekonstrukci
	a r. 2009	říjen-prosinec 2010	říjen-prosinec 2010
ΣCL , celková délka cyklů (hod)	7988	2036	2021
ΣF , celkový filtrát (m3)	226010	82200	79811
ΣBW , celková prací voda (m3)	hrubý odhad *	2137	2202
ΣO , výkonnost filtru (m3.hod -1 / l.s-1)	28,29 / 7,9	40,37 / 11,2	39,49 / 11,0
A , plocha filtru (m2)	cca 16,2	cca 18,1	cca 18,1
ΣC , počet cyklů	114	26	26
ΣCL: ΣC , počet hodin na 1 filtrační cyklus	70	78,3	77,7
ΣF:ΣC ,průměr filtrátu (m3) za 1filtr.cyklus	1983	3162	3070
ΣBW:ΣC ,průměr prací vody (m3) na 1cyk.	80 - 90 **	82 ***	85 ***
NP , čistá produkce filtru (m3/cyklus)	1898	3079	2985
ΣBW : ΣF (%)	4,3	2,6	2,8

*) hrubý odhad, bez měření

**) podle kvalifikovaného odhadu obsluhy ÚV z r. 2009 se objem prací vody pohyboval v rozmezí 80 – 90 m³ na 1 filtrační cyklus, výkon pracího čerpadla Sigma 165 l.s⁻¹

***) objem prací vody na odpadu do kalové laguny (průtokoměr KROHNE minus 18m³)

Praní filtru proběhlo v letních měsících 5-6/2010 za plného provozu stavby a při ručním seřizování parametrů dmyhadla a pracích čerpadel. Po vyhodnocení výsledků byl stanoven režim filtrace a praní filtru. Tento režim byl dlouhodobě sledován a aplikován provozovatelem. Opravené optimální parametry dmyhadla, čerpadel a hladin vody před praním byly zafixovány do SW automatického řídicího systému ovládání provozu úpravny.[32]

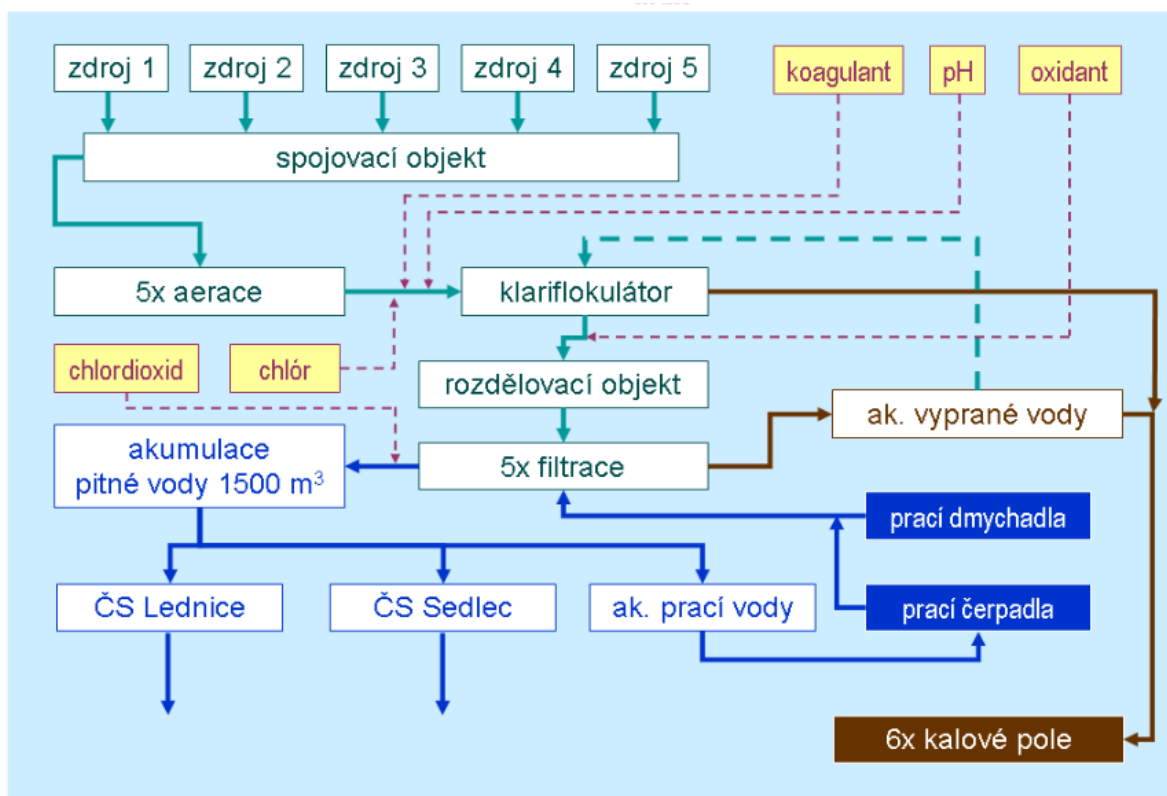
3.4 DRENÁŽNÍ SYSTÉM LEOPOLD

3.4.1 ÚV Lednice

Úpravna vody v Lednici byla vybudována na počátku 60. let v rámci skupinového vodovodu Lednice - Mikulov. V první polovině 70. let proběhla rekonstrukce úpravny s cílem zvýšit výkon úpravny na cca 100 l/s. [33]

Za 40 let od rekonstrukce došlo k výraznému opotřebení technologického zařízení úpravny. Požadavkem na rekonstrukci bylo zvýšení kapacity na $Q_{\max} = 140$ l/s.[33]

Na blokovém schématu je znázorněn nový stav, ze kterého je patrné, že byl doplněn stupeň aerace.



Obr. 3.10 Blokové schéma ÚV Lednice [33]

Stávající rychlofiltry byly zrekonstruovány na systém Leopold s náhradou mezidna s dvou směrným průtokem pracích médií, který zajišťuje rovnoměrnější rozdělení filtrace i regenerace na celou filtrační plochu a umožňuje zvýšení výšky filtrační náplně. Tím je dosaženo větší kalové kapacity a zefektivnění filtračního procesu.[33]

Separční účinnost úpravárenských zařízení úpravny vody je po realizaci navržených úprav velmi vysoká a úpravna produkuje takřka kojeneckou vodu.[34]



Obr. 3.11 Montáž drenážního systému Leopold - ÚV Lednice [33]

3.4.2 ÚV Hradiště

Úpravna vody Hradiště je klíčovým zdrojem Severočeské vodárenské soustavy. Zdrojem surové vody pro úpravnu je vodárenská nádrž Přísečnice, která se nachází na potoce Přísečnice v Krušných horách, severně od města Klášterec nad Ohří. Spotřeba surové vody Q_{\max} činila 1 125 l/s. Vlivem postupného zhoršování kvality surové vody v nádrži se zhoršovala i kvalita upravené vody, což bylo hlavním důvodem, který vedl vlastníka úpravny k rekonstrukci.[35]

Ve druhé etapě rekonstrukce byla za provozu stávající polovina rekonstruována stávající písková filtrace. Na místě původních šesti filtrů bylo vybudováno celkem osm nových filtrů, každý o ploše 55,8 m², s dvouvrstvou filtrační náplní (filtrační písek a antracit).[35]

Tyto filtry byly vybaveny novým drenážním systémem Leopold typu S s krytem IMS, který zakrývá horní část drenážního bloku. Použití těchto krytů zcela eliminuje případnou potřebu vybavení dna filtrů vrstvou šterku a navíc je usnadněno odstraňování či výměna filtrační náplně. Prítok surové vody na jeden filtr je navržen v rozsahu množství $Q = 30\text{--}170\text{ l/s}$. Dimenzování potrubí u filtru je na průtok prací vody $Q = 935\text{ l/s}$ a průtok pracího vzduchu $Q = 3960\text{ Nm}^3/\text{h}$. [35]

Návrhový výkon úpravný se po provedení rekonstrukce jedné poloviny filtrace změnil na $Q_{\max} = 750\text{ l/s}$, $Q_{\text{stř}} = 750\text{ l/s}$ a $Q_{\min} = 300\text{ l/s}$. Spotřeba surové vody se tak změnila na $Q_{\max} = 800\text{ l/s}$. Stejná hodnota maximálního a průměrného výkonu úpravný vody vyplývá ze skutečnosti, že je rekonstruována jen jedna polovina pískové filtrace, rekonstrukce druhé poloviny bude realizována až podle vývoje potřeby vody v budoucnosti. Výkon 750 l/s je v současnosti hodnota, na kterou je úpravná s menšími odchylkami provozována. [35]

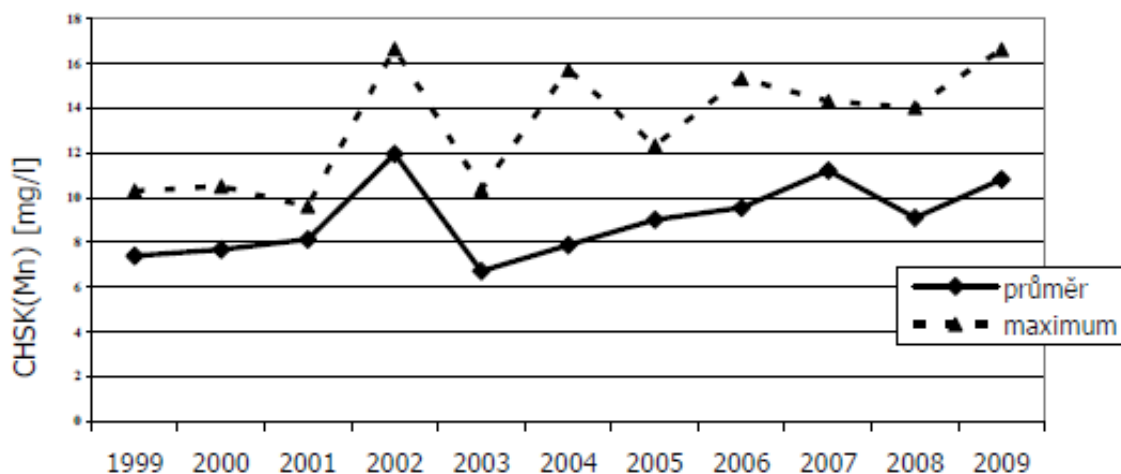


Obr. 3.12 Montáž drenážního systému Leopold [36]

3.4.3 ÚV Mariánské Lázně

V letech 2007-2008 probíhala celková rekonstrukce úpravný Mariánské Lázně, která byla především zaměřena na rekonstrukci filtrace. Jako technické řešení byla zvolena náhrada klasického mezidna u otevřených filtrů drenážním systémem s dvousměrným průtokem pracích médií Leopold v kombinaci s třívrstvou filtrační náplní. Při rekonstrukci byla provedena kompletní výměna armatur, regulačních prvků a elektrických rozvodů. Rekonstrukce probíhala za plného chodu úpravný. [37]

Zdrojem surové vody pro úpravný je povrchová voda. Projektovaná kapacita úpravný je 100 l/s . Na druhém stupni filtrace jsou upravovány podzemní zdroje. Povrchová surová voda je velmi špatné kvality s vysokým obsahem organických látek. [37]



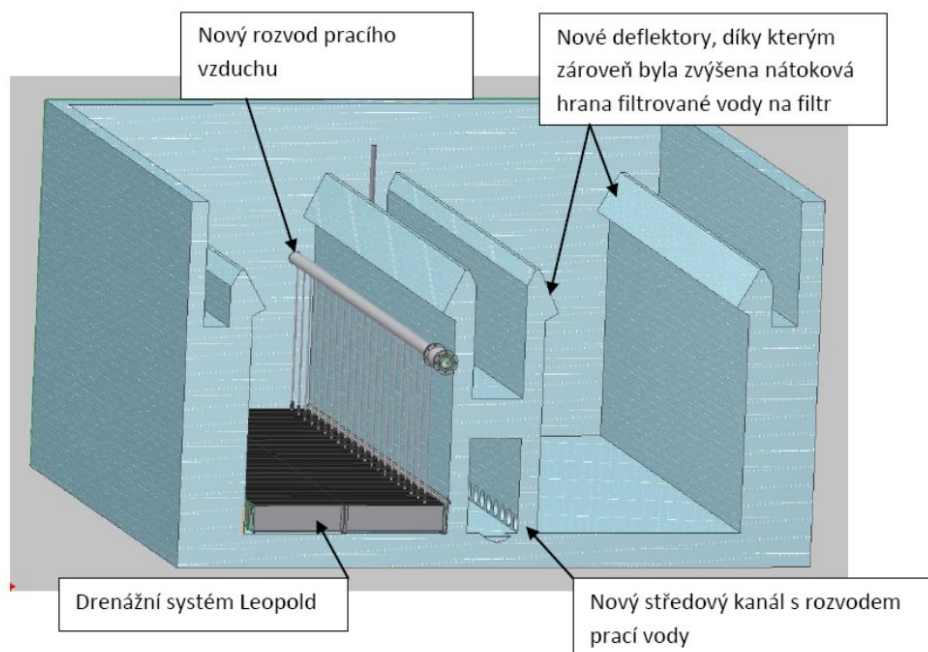
Obr. 3.13 Přítok surové povrchové vody - CHSK(Mn) [37]

Zhoršení kvality v roce 2002 si vyžádalo zvýšení dávek síranu hlinitého z 60-80 g/m³ na 120-140 g/m³. [37]

Technologická linka ÚV Mariánské Lázně se skládá z těchto částí:

- dávkování chemikálií s homogenizací - vápenné mléko, síran hlinitý, KMnO_4
- rychlé míchání - 2 horizontální mísiče HM 80
- flokulační nádrž s rozváděcími žlaby
- první stupeň separace - 4 galeriové čířiče
- přivedení podzemní vody do odtokového žlabu čířičů
- druhý stupeň separace - 4 pískové rychlofiltry
- dávkování chemikálií - chlor, CO_2 , vápenná voda
- akumulace vody
- vyrovnávací nádrže pro práci vodu s odtokem do kanalizace [37]

Při rekonstrukci bylo zrušeno mezidno, což umožnilo zvýšení celkové filtrační vrstvy včetně expanzního prostoru pro praní filtrů a použití více vrstev filtračního materiálu s jemnější zrnitostí než je ve vodárenství obvyklé. Cílem bylo zlepšení kvality pitné vody. [37]



Obr. 3.14 Rekonstrukce filtrace [38]

Na rekonstrukci filtrů byly použity dva typy filtrační náplně. Náplň s antracitem a náplň s aktivním koksem (hydroantracitem) s aktivním povrchem cca 400 m²/g. [37]



Obr. 3.15 Skladba filtrační náplně

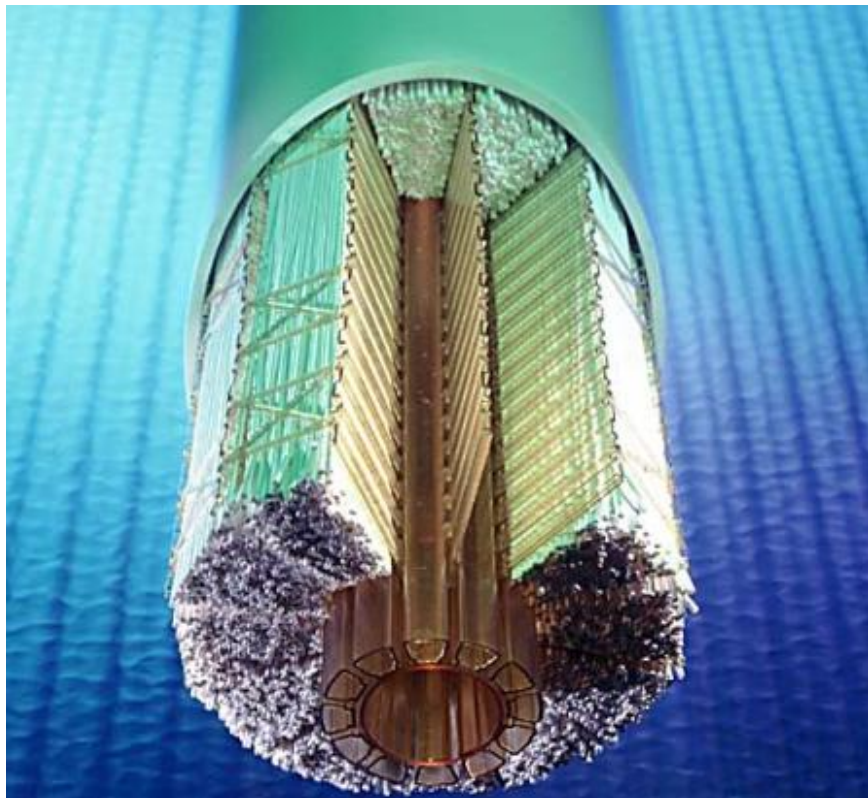
Hlavním přínosem stavby bylo použití vícevrstevných filtračních náplní s jemnou zrnitostí křemičitého písku 0,5-1,0 mm. U dvou filtrů byl místo antracitu N použit aktivní koks. Provedené srovnávací provozní zkoušky mezi starou a novou filtrací ukazují na vyšší stabilitu kvality pitné vody u nové filtrace, zejména v hodnotách ukazatelů Al, zákalu a částečně CHSK_{Mn} a absorbance. [37]

3.5 MEMBRÁNOVÉ TECHNOLOGIE

3.5.1 ÚV Clay Lane (Velká Británie) - ultrafiltrace

Úpravna vody v Clay Lane ve Velké Británii zásobuje část populace na severním okraji Londýna. Surová voda pochází z křídové zvodně. Vzhledem k nálezům oocyst *Cryptosporidia* v surové vodě se společnost Veolia Water rozhodla instalovat na úpravnu ultrafiltrační membránovou jednotku, která se stala největší referencí této technologie na světě. [39]

Voda je čerpána na úpravnu, kde je dávkován ozon, který slouží k oxidaci pesticidů, organických látek a zároveň k dezinfekci vody. Dále voda gravitačně odtéká do filtrů s granulovaným aktivním uhlím. Plocha jednoho filtru je 120 m^2 . Praní filtrů probíhá každých 22 dní a granulované aktivní uhlí je třeba regenerovat jednou za 8 let. Za filtrací je dávkován chlor. Před ultrafiltrací jsou instalovány síta, které jsou pravidelně čištěna a brání ucpání ultrafiltrace. Úpravna využívá pro ultrafiltraci systém Norit X-flow, který je složený z PES vláken. Ultrafiltrace se skládá ze 1536 membránových modulů. Maximální průtok je $165\,000 \text{ m}^3/\text{d}$. Dále je dávkována kyselina fosforečná a voda odtéká do jedné ze čtyř nádrží. [40]



Obr. 3.16 Ultrafiltrační systém Norit X-flow [41]



Obr. 3.17 Ultrafiltrační jednotka [39]

Membrány ultrafiltrace jsou promývány jednou za hodinu po dobu 2 min. vodou, a jednou denně navíc chemicky kyselinou chlorovodíkovou a louhem sodným. Na úpravně se nachází i druhý ultrafiltrační membránový modul, který slouží k filtraci prací vody z prvního modulu. Z něj je koncentrát odváděn do kanalizace a vyčištěná voda je vrácena zpět před dávkování ozonu a je tak recyklována.[42]

3.5.2 ÚV Méry sur Oise (Francie) - nanofiltrace

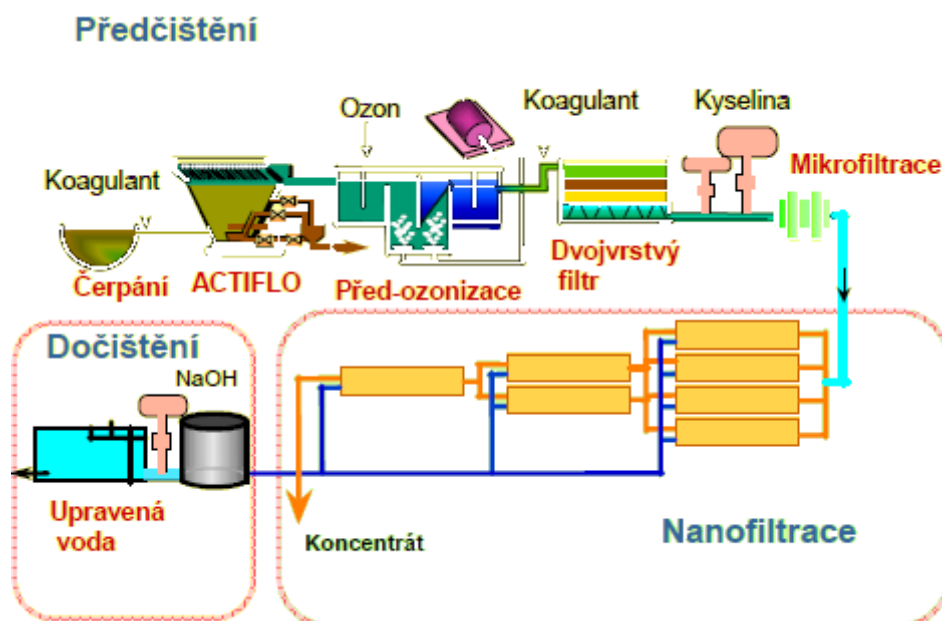
Úpravna vody Méry sur Oise byla postavena na začátku 20. století, a dále byla postupně dostavována a modernizována. Surová voda pro úpravu je čerpána z řeky Oise, v níž je kvalita vody velice proměnlivá. V roce 1980 byl dostavěn nový velkokapacitní vodojem, a v roce 1993, po odborných diskuzích s provozovatelem, byla modelově odzkoušena technologie nanofiltrace. Úspěšné testy, vedené provozovatelem Veolia Water, vedly nakonec k rozhodnutí vlastníka použít pro intenzifikaci ÚV Méry sur Oise právě nanofiltrační membránovou technologii.[43]



Obr. 3.18 Nanofiltrační jednotka [44]

Původní biologická linka upravující surovou vodu z řek Marne a Seine byla v roce 1999 doplněna paralelní nanofiltrační technologií úpravy vody z řeky Oise, což umožnilo zvýšit počet zásobovaných obcí a měst. Denní kapacita byla zvýšena ze 140 000 m³/d na maximální kapacitu 340 000 m³/d, 140 000 m³/d z toho je upraveno nanofiltrací a 30 000 m³/d biologickou linkou (možnost zvýšit až na 200 000 m³/d).[42]

Nová nanofiltrační úpravárenská linka zabírá plochu cca 34 hektarů, a je umístěna v budově o ploše 3 600 m². [42]



Obr. 3.19 Schéma nanofiltrační linky ÚV Méry sur Oise [42]

Linka je schopna odstranit veškeré organické látky, nerozpuštěné látky, bakterie, viry, většinu pesticidů a část minerálních rozpuštěných solí. Upravená voda z nanofiltrační a biologické linky je na výstupu z ÚV smíchána v poměru 80% ku 20%.[42]

3.5.3 ÚV Třebotov - reverzní osmóza

V obci Třebotov, která se nachází na jihozápadním okraji Prahy, bylo zásobování obyvatel pitnou vodou problematické kvůli nadlimitním hodnotám dusičnanů ve zdrojích vody. Surová voda byla čerpána z objektu čerpací stanice, v níž probíhalo hygienické zabezpečení chlornanem sodným, přímo do distribuční sítě. Hodnoty dusičnanů v dodávané vodě tak byly shodné s hodnotami ve vodě surové a dle provedených rozborů se pohybovaly okolo 100 mg/l. Z tohoto důvodu bylo hledáno řešení, jež by zajistilo plnění požadavků Vyhl. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.[45]

V roce 2006 byla do této úpravně instalována technologie založená na membránových procesech. Konkrétně se na úpravně využívá stanice reverzní osmózy. Technologie úpravy byla navržena na výkon 15 m³/h.[43]

Úpravna vody čerpá vodu čerpadly ze studen a z jednoho zářezu přitéká voda samospádem. Voda je shromažďována v zásobní jímce surové vody, z níž je dále čerpána do stanice reverzní osmózy. Za stanicí je dávkována kyselina chlorovodíková, která slouží k úpravě pH a zamezuje tvorbu nerozpustných usazenin. Dále pak voda vstupuje do pojistných rukávových filtrů, jejichž porosita je 5 µm. Za filtry je oddělen menší proud vody, který slouží ke smísení s vyrobeným permeátem. Voda je čerpána pracovním čerpadlem do pracovních nádob, ve kterých jsou vloženy spirálně svinuté RO elementy, na kterých vzniká odsolený proud, což je RO permeát. Dále zde vzniká zahuštěný proud zvaný RO koncentrát. Permeát je odváděn do odvětrávací kolony, kde je odvětrán volný CO₂. Permeát se u odvětrávací kolony vede přes vrstvu náplně, která má velkou povrchovou plochu. Proti proudu permeátu je pak ze spodní části nádrže pomocí ventilátoru vháněn vzduch. Odstraněný oxid uhličitý je pak odváděn mimo budovu úpravně vody. Na výstupu z odvětrávací kolony se nachází směšovací uzel. Koncentrát z RO stanice se odvádí do kanalizace.[43]

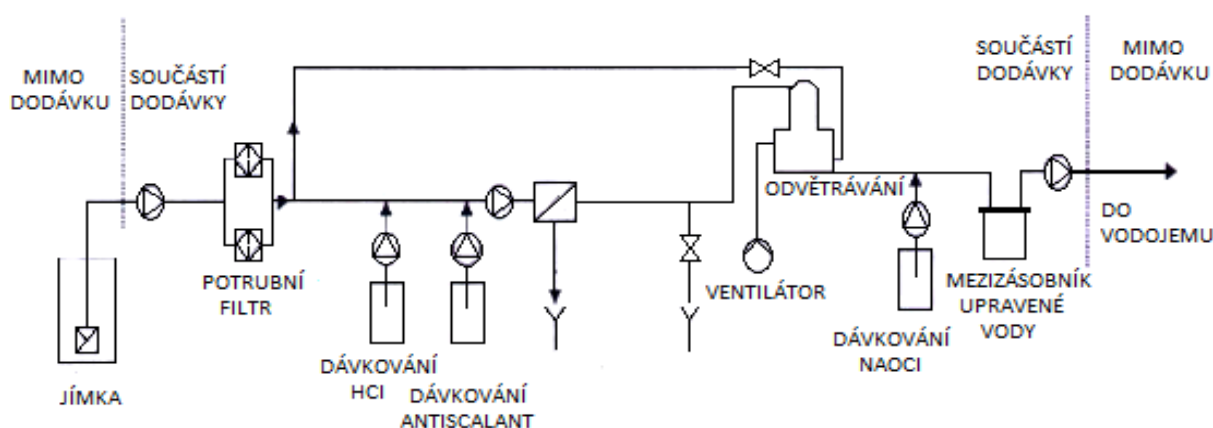


Obr. 3.20 Jednotka reverzní osmózy na ÚV Třebotov [46]

Dosavadní provoz ukázal, že tato technologie umožňuje v upravené vodě dosáhnout stabilních hodnot koncentrací jednotlivých složek v požadované výši. Bylo ověřeno, že poměr proudu surové vody oddělovaný do jednotky reverzní osmózy lze snadno vypočítat a modifikovat v návaznosti na změny kvality zdrojové vody ve vztahu k požadované kvalitě výsledné směsi.[45]

Tab. 3.4 Porovnání hodnot zkušebního a trvalého provozu [45]

ukazatel (mg/l)	surová voda		upravená voda – trvalý provoz	
	zkušební provoz	trvalý provoz	teor. výpočet	skutečnost
NO ₃ ⁻	69	73	35	37
Ca+Mg (mmol/l)	5,6	5,5	2,6	2,5
Ca ²⁺	174	188	90	81
Mg ²⁺	31	20	10,0	10,7
Cl ⁻	74	73	35	32
SO ₄ ²⁻	143	141	68	66
vodivost (mS/m)	118	117	56	56



Obr. 3.21 Blokové schéma ÚV Třebotov

3.6 TECHNOLOGIE MIOX

3.6.1 ÚV Vysoká Pec a Limnice

Úpravna vody Vysoká Pec a Limnice zásobuje vodou město Nejdek, které se nachází v Karlovarském kraji. Zdrojem vody je povrchová voda z Rudenského potoka. V těchto úpravnách jsou instalovány dvě zařízení pro výrobu směsných oxidantů.[43]

Dříve zde byla provozována dezinfekce plynným chlorem z tlakových nádob. Tato metoda přestala však provozovateli vyhovovat, zejména z důvodů častých závad celého systému. Dalším důvodem byla obtížná manipulace s tlakovými lahvemi i změnami v distribuci plynného chloru a jeho ceně.[43]

V každé úpravně se nachází jednotka SAL 40. Celé zařízení pracuje automaticky, obsluha pouze kontroluje chod, zapisuje provozní údaje a podle potřeby doplňuje sůl do nádrže na solanku. Interval doplňování soli je na úpravně Vysoká Pec 50 kg za 5-6 dnů, na úpravně

Limnice 50 kg za 20 dnů. Na úpravně Vysoká Pec bylo za rok vyrobeno 332,5 kg chloru, na úpravně Limnice 122,8 kg chloru.[43]

Provozní náklady jsou ve výši 0,19 Kč/m³ vyrobené vody na úpravně Vysoká Pec a 0,09 Kč/m³ na úpravně Limnice. Rozdíl v nákladech, a tedy i spotřebě materiálu a energie spočívá v rozdílném dávkování chloru a skutečnosti, že na úpravně Vysoká Pec se vyrobené oxidanty používají i na odstraňování železa. Za rok bylo na obou úpravnách spotřebováno 3,75 t soli a 11 tisíc kWh energie. Údržba zahrnovala pouze práce, které byli schopni zaměstnanci úpravní zvládnout vlastními silami - výměnu filtrů na vodu a vyčištění nádrže.[43]

Z toho vyplývá, že tato technologie je výhodná ve své nenáročnosti na obsluhu, spolehlivosti jednotlivých komponentů a nezávadnosti z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví.

Tab. 3.5 Provozní náklady a spotřeba materiálu a elektrické energie[47]

	NaCl	Energie	Voda	Vyrobena voda
	(kg)	(kWh)	(m ³)	(m ³)
Vysoká Pec	2 799	7 968	264,74	236 253
Limnice	959	3 144	108,49	185 085
	(Kč/kg)	(Kč/kWh)	(Kč/m ³)	
<i>Jednotkové ceny vstupů</i>	3,3	4,52	21,69	
<i>Celkové náklady</i>	(Kč/rok)	(Kč/rok)	(Kč/rok)	(Kč/rok)
Vysoká Pec	9 237	36 015	5 742	45 252
Limnice	3 165	14 211	2 353	17 376
<i>Jednotkové náklady</i>	(Kč/m ³ /rok)	(Kč/m ³ /rok)	(Kč/m ³ /rok)	(Kč/m ³ /rok)
Vysoká Pec	0,039	0,152	-	0,192
Limnice	0,017	0,077	-	0,094

Tab. 3.6 Porovnání ročních nákladů na dezinfekci a hygienické zabezpečení vody[47]

Popis	Jednotková cena	Jednotka	Cena	Jednotka
Spotřeba 900 kg plynného chloru	50	<i>Kč/kg</i>	45 000	<i>Kč/rok</i>
Nájem obalu 65 kg, 6 ks	3 050	<i>Kč/ks</i>	18 300	<i>Kč/rok</i>
Opravy, revize, údržba, 5 návštěv	3 800	<i>Kč/návštěvu</i>	19 000	<i>Kč/rok</i>
Náklady na BOZP	Nejsou zahrnuty			
Celkem při dezinfekci plynným chlorem			82 300	Kč/rok
X				
Celkem při dezinfekci směsnými oxidanty Aquion MIOX			62 628	Kč/rok



Obr. 3.22 Úpravna vody Vysoká Pec. Zařízení SAL-40 pro výrobu chloru. [47]

4 ZÁVĚR

Práce je rozdělena na dvě části. První část je rozdělena do tří kategorií, podle uspořádání jednotlivých technologií na úpravně. První kategorii tvoří technologie, které nalezneme v prvním separačním stupni. Mezi tyto technologie patří lamelová vestavba v usazovacích nádržích, čířiče se zatěžovanou flokulací, lamely v čířičích s vločkovým mrakem, stanice s reaktorem s plovoucí filtrační vrstvou a flotace. Další kategorií je filtrace, kde se věnují filtraci s drenážním systémem Leopold a Triton, membránové filtraci a adsorpčním materiálům. Ve třetí kategorii popisují nejnovější technologie využívané k dezinfekci upravené vody jako je technologie MIOX a membránové procesy. U jednotlivých typů je popsáno jak fungují a jaké jsou jejich provozní parametry.

V druhé části se zabývám konkrétními úpravami, kde jsou výše zmíněné technologie v provozu. Většina nových technologií byla na úpravnách zavedena v rámci rekonstrukce, kdy se původní technologie staly nevhodnými z důvodů zastaralosti, změny vlastností vody nebo změnami v poptávce po množství upravené vody.

V současné době je velice "populární" flotace. Ne všechny druhy surových vod jsou vhodné pro tuto technologii. U nás je tato technologie pro úpravu pitné vody využívána na ÚV Mostiště, kde je u surové vody problém s eutrofizací a na ÚV Jirkov, kde je surová voda charakteristická obsahem huminových látek a proměnlivým CHSK_{Mn} . Právě pro úpravu těchto druhů vod je vhodné využít flotaci.

Další novinkou v úpravárenských technologiích jsou drenážní systémy Triton a Leopold. V rámci mé bakalářské práce jsem se zaměřila na ÚV Kroměříž a ÚV Štítná nad Vláří, kde byl při rekonstrukci pískových filtrů instalován systém Triton. Výhodou tohoto systému je, že má vysokou schopnost zachycení mechanických částic na obálce filtračního segmentu a je možno využít původní filtrační materiál. Druhý drenážní systém Leopold je u nás zastoupen na ÚV Lednice, ÚV Hradiště a ÚV Mariánské Lázně. Na úpravně v Lednici tento systém společně s dalšími navrženými úpravami velmi zvýšil kvalitu vody, kterou lze teď považovat za takřka kojeneckou. ÚV Hradiště se potýkala s problémem zhoršování kvality surové i upravené vody, což vedlo k rekonstrukci pískové filtrace, na jejímž místě byly vybudovány nové filtry s drenážním systémem Leopold a kryty, které eliminují potřebu vybavení dna vrstvou šterku a zároveň usnadňují výměnu filtrační náplně. Na ÚV Mariánské Lázně byla rekonstrukce prováděna z důvodů zvýšení kvality surové povrchové vody.

Moderním trendem, který se pomalu rozšiřuje i k nám, jsou membránové technologie. Využití mohou nalézt ve filtraci, ale i dezinfekci. Ve světě jsou membránové technologie poměrně hojně rozšířené, a tak jsem vybrala jen ty úpravny, které byly nejzajímavější. Jednou z nich je ÚV Clay Lane, která má největší ultrafiltrační jednotku na světě. Tato jednotka zde byla postavena proto, aby bakterie *Cryptosporidium* nepronikla dále do upravené vody a došlo

k jejímu zachycení na membránách. Další úpravnou ve světě, kde můžeme nalézt membránovou technologii, je ÚV Méry sur Oise. Na této úpravně jsou zastoupeny hned dvě membránové technologie, a to nanofiltrace a mikrofiltrace, která slouží jako předčištění. U nás je tato technologie zastoupena na ÚV Třebotov, kde byly naměřeny nadlimitní hodnoty dusičnanů.

MIOX patří ve světě mezi známou technologii používanou k dezinfekci vody. U nás ji můžeme najít na ÚV Vysoká Pec a Limnice, kde se z důvodů častých poruch, obtížné manipulace s tlakovými lahvemi a změnami distributorů a ceny plynného chloru, rozhodli pro instalaci jednotky, která dává do vody chlor sama.

Nezbytnou součástí každé inovace by měla být předprojektová příprava, která může ušetřit značnou část financí. Zároveň však činí jedno až několik málo procent z ceny celého díla a je nezávislá na kapacitě úpravy. Dokumentuje také hlavní inženýrská rozhodnutí, a to včetně kritérií, zdůvodnění výběru procesů, porovnání alternativ na základě exaktních měření a získání solidních podkladů pro projektování. Předprojektová příprava dává vlastníkově infrastruktury možnost vyhodnotit technickou stránku investice ještě před tím, než dojde k podrobnému projektovému zpracování a začne vlastní stavba.

Při výběru vhodné technologie je třeba nepodlehnout trendům a spíše se zaměřit na konkrétní problém, který by měla nově zvolená technologie vyřešit. Různé kombinace výskytů znečištění by měly vést k různým kombinacím úpravárenských postupů. Výsledné řešení by se mělo zabývat přírodními podmínkami, ekonomickou a provozně-technickou efektivností a bezpečností.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Pitná voda*. STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV. [online]. [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/pitna-voda>
- [2] STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV. *Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství*. Praha, 2007. Dostupné z: <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/hygmin2.pdf>
- [3] ČR. Vyhláška 120/2011 Sb. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, p.o., 6. května 2011, roč. 2011, č. 120, částka 46.
- [4] BIELA, Renata. Tradiční a nové technologie úpravy vody. In: *ASIO. Pitná voda - novinky a souvislosti: aneb What's NEW? N-nutrients; E-energy; W-water*. 2012, s. 7. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/173.tradicni-a-nove-technologie-upravy-vody>
- [5] BIELA, Renata. *Úprava vody a balneotechnika*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 164 s. ISBN 80-214-2563-6.
- [6] ENVI-PUR. Úprava vody: Lamelová vestavba. Dostupné z: http://www.envi-pur.cz/img/tech/lamella_detail.jpg
- [7] Produkty: Lamelové usazovaky a čiriče. ENVITES, spol. s r.o. Envites: Technika pro vodní a kalové hospodářství [online]. [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: http://www.envites.cz/cs/produkty/lamelove_usazovaky_a_cirice/
- [8] VOSTŘIL, Josef, Igor TESÁŘÍK. *Čiriče na úpravu vložkovým mrakem*. Vyd. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka Praha, 1999, ISBN 80-85900-30-0
- [9] Příručka provozovatele úpravy pitné vody: Kapitola 5 - Objekty. [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <http://www.vakinfo.cz/Members/redakce/prirucka-provozovatele-upv-korektorni-nahledy/kapitola-5-objekty>
- [10] Čirič Superpulsator. [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <http://www.water-technology.net/projects/cary/cary6.html>
- [11] TUHOVČÁK, Ladislav et al. *Vodárenství – Úprava a doprava vody*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, 2006, 252 s.
- [12] ENVI-PUR. Úprava vody: Flotace DAF. Dostupné z: <http://www.envi-pur.cz/>
- [13] DOLEJŠ, Petr. Návrhové parametry a separační účinnost flotace – ověření v provozu první vodárenské flotace v ČR na ÚV Mostiště. In: *Voda Zlín 2006*. 1. Zlín: Zlínská vodárenská a.s., 2006. s. 131–136. ISBN: 80-239-6523-9.
- [14] ENVI-PUR. Drenážní systém Leopold. Úprava vody: Vodárenské filtry [online]. [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: <http://www.envi-pur.cz/?page=vodarenske-filtry>
- [15] TRITON SYSTEM pro výrobu pitné vody s přímým zadržováním filtračního media. [online]. [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: http://www.johnsonscreens.com/sites/default/files/7/486/Triton%20Underdrain%20Systems_CZ.pdf
- [16] RIVET, Christian, Fabrice COURAGEOT a Zdeněk HRADIL. Nerezové drenážní systémy Triton ve filtrační technologii pitných vod. In: *Sborník Voda Zlín*. 2008. vyd. Dostupné z: <http://www.smv.cz/res/data/015/001810.pdf>

- [17] Prospekt společnosti Johnsons Screens. Dostupné z: <http://www.johnsonscreens.com/sites/default/files/2/697/Triton%20Underdrain%20Systems.pdf>
- [18] MUKA, Karol a Viliam VIŠACKÝ. Trendy v úpravě vody. In: *Pitná voda*. Trenčianské Teplice, 7.-8.10.2009. ISBN 978-80-969974-2-8.
- [19] ASIO. Membránové procesy pro úpravu pitné vody. 26.2.2012. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/74.membranove-procesy-pro-upravu-pitne-vody>
- [20] Keramické membrány. [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: http://www.likuidnanotek.com/en/membranes-cartridges/membranes/ceramic_membranes/
- [21] Membrány z PP vláken. [online]. [cit. 2013-04-02] Dostupné z: <http://image.made-in-china.com/2f0j00tCQTaQEGDMLv/PVDF-Hollow-Fiber-Ultra-Filtration-Membrane.jpg>
- [22] Barloková D.: Odstraňovanie Fe a Mn v ÚV Kúty – poloprevádzkové experimenty. *Sborník konference Pitná voda 2010*, s. 241-246. W&ET Team, Č. Budějovice 2010. ISBN 978-80-254-6854-8. Dostupné z: <http://www.wet-team.cz/files/konference/2010/PV2010%20sbornik/40-Barloкова.pdf>
- [23] BIELA, Renata. Odstraňování železa a manganu ze zdrojů pitné vody. *TZB-info* [online]. [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/9320-odstranovani-zeleza-a-manganu-ze-zdroju-pitne-vody>
- [24] Dezinfekční technologie MIOX na bázi chlóru. [online]. [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: <http://www.e-voda.cz/clanek/17/dezinfekcni-technologie-miox-na-bazi-chloru>
- [25] DRDA, Milan, Jiří ČERVENKA a Josef DRBOHLAV. Rekonstrukce úpravní vody Hajská - projektování, realizace a uvádění do provozu. In: *Voda Zlín 2013*. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., březen 2013, s. 6. ISBN 978-80-260-3739-2.
- [26] MAZEL, Luboš a Jiří DVOŘÁK. Provozní zkušenosti s flotací rozpuštěným vzduchem na úpravně vody Mostiště. *Sborník konference Pitná voda 2008*, s. 313-318. W&ET Team, Č. Budějovice 2008. ISBN 978-80-254-2034-8
- [27] BURIANOVÁ, Jana. Vliv provozních parametrů flotace na separační účinnost úpravní vody Mostiště. In: *Studentská tvůrčí činnost Student 2006*. Dostupné z: http://www.fch.vutbr.cz/stc/download/STC2006/Burianova_STC_2006.pdf
- [28] STM-ENVI. ÚV Mostiště. Dostupné z: http://www.stm-envi.eu/epd/content/611_1.jpg
- [29] STŘEDA, Pavel, Karel BLÁŽEK a František FEDOR. Rekonstrukce úpravní vody Jirkov a III. Mlýn. In: *Voda Zlín 2013*. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., březen 2013, s. 6. ISBN 978-80-260-3739-2.
- [30] Rekonstrukce úpravní vody Jirkov dokončena. [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.sweco.cz/cs/Czech-Republic/News/2012/Rekonstrukce-upravny-vody-Jirkov-dokonena/>
- [31] ADLER, Pavel a Zdeněk HRADIL. Zhodnocení dosavadních zkušeností s instalací a provozem drenážního systému TRITON na filtrech č.1 a 2 úpravní vody Kroměříž. In: *Voda Zlín 2013*. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., březen 2013, s. 6. ISBN 978-80-260-3739-2.

- [32] ADLER, Pavel a Zdeněk HRADIL. Zkušenosti s provozem šterbinového drenážního systému Triton na ÚV Štítná nad Vláří. In: *Voda Zlín 2011*. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., březen 2011, s. 6. ISBN 978-80-254-9113-3
- [33] LÁTAL, Milan a Milan DRDA. Rekonstrukce úpravny vody Lednice. *Sborník konference Pitná voda 2008*, s. 329-332. W&ET Team, Č. Budějovice 2008. ISBN 978-80-254-2034-8
- [34] LÁTAL, Milan. Vyhodnocení zkušebního provozu ÚV Lednice po rekonstrukci. *Sborník konference Pitná voda 2010*, s. 229-234. W&ET Team, Č. Budějovice 2010. ISBN 978-80-254-6854-8
- [35] GABRIEL, Petr, Mstislav MAŤOCHA, Josef DRBOHLAV a Milan DRDA. Zkušenosti s provozem šterbinového drenážního systému Triton na ÚV Štítná nad Vláří. In: *Voda Zlín 2006*. Zlín: Moravská vodárenská, a.s.
- [36] STM-ENVI. ÚV Hradiště. Dostupné z: <http://stm-envi.eu/?i=500/uv-hradiste-ch>
- [37] RŮŽIČKA, Jiří a Michaela Polidarová. Přehled a zhodnocení provozních výsledků po rekonstrukci ÚV Mariánské Lázně. *Sborník konference Pitná voda 2010*, s. 235-240. W&ET Team, Č. Budějovice 2010. ISBN 978-80-254-6854-8
- [38] Prezentace. *Projektování a rekonstrukce ÚV Mariánské Lázně - první použití velmi jemných filtračních náplní v ČR*. Dostupné z: http://www.vodaforum.cz/prezentace/zakaznici/vodaforum/dokumenty/pdf/f57_30-05-drda.pdf
- [39] Prezentace Veolia Water. *Control of Cryptosporidium and Gardia in Drinking Water - European Perspective*. Dostupné z: http://www.cees.iupui.edu/education/Workshops/SourceWaterManagement/Presentations/Mysore_Lenes.pdf
- [40] AMERICAN QATER WORKS ASSOC. *Integration of Membrane Filtration Into Water Treatment Systems*. San Antonio, 2006. ISBN -10: 1583214429. Dostupné z: <http://books.google.cz/books?id=rJ8ae1oDcTUC&pg=PA47&dq=clay+lane&hl=cs&sa=X&ei=MgGJUcapA8S4hAe93oCADw&ved=0CDQQ6AEwAA#v=onepage&q=clay%20lane&f=false>
- [41] OXTOBY, Steve. Prezentace Veolia Water. *Operational Experiences of the Clay Lane Ultrafiltration Plant*. Dostupné z: http://www.techneau.org/fileadmin/files/Publications/Publications/Presentations/Workshop_NF_UF/Oxtoby.pdf
- [42] CHUDOBA, Pavel a Michal ČÍŽÍK. Membránové technologie pro úpravu pitných vod - příklad ÚV Méry sur Oise (Francie). In: *Voda Zlín 2005*. Zlín: Moravská vodárenská, a.s.
- [43] ŠOPÍKOVÁ, Lucie. Možnosti hygienického zabezpečení pitné vody. Brno, 2012. 63 s., bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí.
- [44] Nanofiltrační jednotka. Dostupné z: <http://atlaseau.valdoise.fr/media/media2587.jpg>
- [45] LÁNSKÝ Milan a Jiří PAUL. Technologie reverzní osmózy – provozní zkušenosti z ÚV Třebotov. *Sborník konference Pitná voda 2008*, s. 235-240. W&ET Team, Č. Budějovice 2008. ISBN 978-80-254-2034-8. Dostupné z: <http://www.wet-team.cz/files/konference/2008/PV%20Tabor/37-Lansky%20a%20kol.pdf>

- [46] Presentace VWS MEMSEP, člen skupiny Veolia Water Solutions. Dostupné z: http://www.vodaforum.cz/prezentace/zakaznici/vodaforum/dokumenty/pps/f37_prezentace-vwsm.pps
- [47] VÍTEK, Lubomír. Zkušenosti z ročního provozu zařízení pro výrobu chloru v místě použití elektrolýzou solanky. Dostupné z: <http://www.e-voda.cz/clanek/75/zkusenosti-z-rocniho-provozu-zarizeni-pro-vyrobu-chloru-v-miste-pouziti-elektrolyzou-solanky>

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Příklad provozních výsledků technologie NF– NL a dusičnany [42].....	20
Tab. 2.2 Příklad provozních výsledků technologie NF - rozpuštěné látky [42]	21
Tab. 2.3 Porovnání účinnosti odstranění dusičnanů a některých pesticidů různými membránami [42]	21
Tab. 3.1 Podmínky a výsledky měření při různé rychlosti míchání [27]	28
Tab. 3.2 Podmínky a výsledky měření při různých intervalech shrabování kalu [27]	29
Tab. 3.3 Srovnání filtračních cyklu před a po rekonstrukci [32]	33
Tab. 3.4 Porovnání hodnot zkušebního a trvalého provozu [45]	43
Tab. 3.5 Provozní náklady a spotřeba materiálu a elektrické energie[47].....	44
Tab. 3.6 Porovnání ročních nákladů na dezinfekci a hygienické zabezpečení vody[47]	45

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Blokové schéma úpravy vody dvoustupňovou separací při odběru vody z povrchového zdroje [5].....	5
Obr. 2.1 Lamelová vestavba [6].....	6
Obr. 2.2 Fluorapid [8].....	7
Obr. 2.3 Cyclofloc [8].....	8
Obr. 2.4 Schéma pulsátoru [9]	9
Obr. 2.5 Superpulsator [10]	10
Obr. 2.6 Schéma filtru s plovoucí filtrační náplní s tvorbou vločkového mraku [9]	11
Obr. 2.7 Schéma klasického uspořádání zařízení flotace [12].....	13
Obr. 2.8 Oblasti vhodného výběru separačních procesů [13].....	14
Obr. 2.9 Praní filtru [14]	15
Obr. 2.10 Blok drenážního systému Leopold [14]	15
Obr. 2.11 Drenážní systém Triton [15].....	16
Obr. 2.12 Konstrukce systému Triton [15]	17
Obr. 2.13 Princip filtrace [17].....	17
Obr. 2.14 Rozdělení membránových procesů podle stupně separace [19].....	18
Obr. 2.17 Funkce membrány [11]	19
Obr. 2.15 Keramické membrány [20].....	19
Obr. 2.16 Membrány z PVDF vláken [21]	19
Obr. 2.18 Schéma modulu se spirálovou membránou [9]	20
Obr. 2.19 Schéma modulu s tubulární membránou [9]	20
Obr. 2.20 Schéma technologie výroby směsných oxidantů [24]	23
Obr. 3.1 Návrh separačního stupně - podélný řez nádrží [25].....	26
Obr. 3.2 Flotační jednotka [12]	27
Obr. 3.3 Shrabování kalu [28].....	27
Obr. 3.4 Výsledky měření analyzátozem částic při různé rychlosti míchání [27].....	28
Obr. 3.5 Výsledky měření analyzátozem částic při různých intervalech shrabování kalu [27]	29

Obr. 3.6 Nová hala - flotace a filtrace [30]	30
Obr. 3.7 Flotační jednotka [30]	31
Obr. 3.8 Montáž Tritonu ve filtru [31]	32
Obr. 3.9 Drenážní segment [31]	32
Obr. 3.10 Blokové schéma ÚV Lednice [33]	34
Obr. 3.11 Montáž drenážního systému Leopold - ÚV Lednice [33].....	35
Obr. 3.12 Montáž drenážního systému Leopold [36].....	36
Obr. 3.13 Přítok surové povrchové vody - CHSK(Mn) [37]	37
Obr. 3.14 Rekonstrukce filtrace [38].....	38
Obr. 3.15 Skladba filtrační náplně.....	38
Obr. 3.16 Ultrafiltrační systém Norit X-flow [41]	39
Obr. 3.17 Ultrafiltrační jednotka [39].....	40
Obr. 3.18 Nanofiltrační jednotka [44]	40
Obr. 3.19 Schéma nanofiltrační linky ÚV Méry sur Oise [42].....	41
Obr. 3.20 Jednotka reverzní osmózy na ÚV Třebotov [46].....	42
Obr. 3.21 Blokové schéma ÚV Třebotov	43
Obr. 3.22 Úpravna vody Vysoká Pec. Zařízení SAL-40 pro výrobu chloru. [47]	45

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

PVDF	polyvinyl difluorid
SW	software
PES	polyester
MIOX	mixed oxidants, směsné oxidanty
RO	reverzní osmóza
ÚV	úpravna vody
CHSK _{Mn}	chemická spotřeba kyslíku manganometricky

SUMMARY

This bachelor's thesis is divided into two parts. The first part is focused on particular technologies at water treatment plants and consists of three categories, which are ordered by position in the process of the water treatment. The first category contains information about technologies of pretreatment, like lamella settlers, flocculating clarifiers, lamellas built-in clarifiers with flocculation cloud, station with reactor and afloat filtration layer and flotation. The second category is focused on filtration with underdrain system Leopold and Triton, membrane filtration and adsorption materials. The third category describes technologies, which are used for disinfection of treated water, like technology MIOX and membrane process. At particular types of technologies is described how they work and their operation parameters.

The second part shows concrete water treatment plants, where mentioned technologies are in use. The most of new technologies were built during the reconstruction projects of already standing water treatment plants.

A necessary part of every innovation is pre-project preparation, it can save significant portion of finances. The pre-project preparation documents main engineering decision, warrant of choice of process, comparison of alternatives by custom exact measurement and gathering of basic data for projecting. The pre-project preparation gives infrastructure owner a possibility to consider the technical part of investment before the final documentation is finished.

When we are choosing the technology, we shouldn't fall into trends, but we have to be focused on concrete problems. Various combination of appearance of pollution should lead to various combination of water treatment process. Final solution should consider natural conditions, economical and operationally-technical efficiency and safety.